

UNIVERZA V LJUBLJANI
FAKULTETA ZA RAČUNALNIŠTVO IN INFORMATIKO

Jure Pogačnik

Avtomatizacija skladišča

DIPLOMSKO DELO

VISOKOŠOLSKI STROKOVNI ŠTUDIJSKI PROGRAM PRVE
STOPNJE RAČUNALNIŠTVO IN INFORMATIKA

MENTOR: izr. prof. dr. Uroš Lotrič

Ljubljana, 2016

Fakulteta za računalništvo in informatiko izdaja naslednjo nalogo:

Tematika naloge:

Avtomatizacija skladiščnih procesov je nujna za zagotavljanje konkurenčne prednosti podjetij. Avtomatski skladiščni sistemi so sestavljeni iz množice različnih naprav: regalnih dvigal, vozičkov, transportnih sistemov. Že sami transportni sistemi so sestavljeni iz množice različnih naprav, ki jih je treba povezati v celoto in z ostalimi napravami v sistemu. Za transportni sistem pripravite krmilni program, sestavljen iz modularnih in kar se da splošnih programskih blokov, s katerimi lahko podprete poljubno sestavo transportnega sistema. Programske koncepte preverite na realnem primeru.

Zahvaljujem se mentorju izr. prof. dr. Uroš Lotriču za vodstvo ter pomoč pri izdelavi diplomskega dela. Zahvaljujem se tudi staršema za večno podporo in spodbudo.

Kazalo

1	Uvod	1
2	Predstavitev projekta	4
2.1	Pregled sistema	4
2.1.1	Pritličje	4
2.1.2	Nadstropje.....	5
2.2	Gradniki transportnega sistema.....	7
2.2.1	Valjni transporter GVT	7
2.2.2	Verižni transporter VRT	8
2.2.3	Prekladalnik z gnanim valjčnim transporterjem GVT-P	8
2.2.4	Gnani poravnalnik palete.....	9
2.2.5	Poravnalnik palete za avtomatsko regalno dvigalo POR-ARD.....	9
2.2.6	Vrtljiva miza z verižnim transporterjem in valjčnim prekladalnikom VRT- VM-GVT-P.....	10
2.2.7	Vrtljiva miza z gnanim valjčnim transporterjem VM-GVT	11
2.2.8	Vertikalni transporter z gnanim verižnim transporterjem DV-VRT	12
2.2.9	Kontrola palet	13
2.2.9.1	Kontrola dimenzij	13
2.2.9.2	Kontrola dna palete	13
2.2.9.3	Kontrola teže	14
2.2.9.4	Kontrola črtne kode	14
2.2.9.5	Vizualizacija stanja	14
2.2.10	Avtomatski ovijalec AV	15
2.3	Združevanje elementov transportnega sistema v funkcionalne enote.....	15
2.3.1	Pritličje	15

2.3.1.1	Sprejem.....	15
2.3.1.2	Pretočna linija.....	16
2.3.1.3	Transporterji pred visokoregalnim skladiščem v pritličju.....	16
2.3.2	Nadstropje	16
2.3.2.1	Pakirnica 1	16
2.3.2.2	Pakirnica 2	16
2.3.2.3	Pakirnica 3	17
2.3.2.4	Transporterji pred visokoregalnim skladiščem v nadstropju	17
2.4	Ostale naprave v skladišču	17
2.4.1	Avtomatsko regalno dvigalo – ARD	17
2.4.2	Transportni voziček z dvema gnanima verižnima transporterjema voz2vrt	18
2.4.3	Transportni voziček s teleskopskimi vilicami voz2vil.....	18
2.4.4	Premični vertikalni posluževalec PVP	19
3	Oprema	21
3.1	Programirljivi logični krmilnik – PLK.....	21
3.2	Varnostni elementi	21
3.2.1	Varnostna zavesa in kamera.....	22
3.2.1.1	Varnostna zavesa	22
3.2.1.2	Varnostna kamera.....	23
3.3	Senzorji.....	24
3.3.1	Osnovni senzorji	24
3.3.2	Napredni senzorji	25
3.4	Uporabniški vmesnik.....	25
3.5	Frekvenčni pretvornik	26
4	Strukture in koncepti.....	29
4.1	Segment	29
4.1.1	Režim obratovanja	29
4.1.1.1	Ročni režim	29
4.1.1.2	Avtomatski režim	29

4.1.2	Alarm	30
4.2	Logična slika in paletna mesta	30
4.2.1	Logični element palete	31
4.2.2	Premik logičnega elementa palete	31
4.2.2.1	Premik palete med transporterjema z eno logično lokacijo	31
4.2.2.2	Premik palete iz transporterja z dvema logičnima lokacijama	32
4.2.2.3	Premik palete na transporter z dvema logičnima lokacijama	33
4.2.2.4	Premik palete med napravami z različnimi programirljivimi logičnimi krmilniki	33
4.3	Avtomatsko vodenje palete	34
4.4	Komunikacija med programirljivim logičnim krmilnikom in sistemom za pretok palet	34
5	Programska logika naprav transportnega sistema	35
5.1	Logični pogoji za izvajanje ukaza	35
5.1.1	Pogoji za avtomatsko obratovanje	36
5.1.2	Varnostni pogoji	37
5.2	Naprave transportnega sistema	37
5.2.1	Transporter z enim logičnim mestom	38
5.2.2	Transporter z dvema logičnima mestoma	39
5.2.3	Križišče	40
5.2.4	Poravnalnik palete za avtomatsko regalno dvigalo POR-ARD	41
5.2.5	Vrtljiva miza z verižnim transporterjem in valjčnim prekladalnikom VRT-VM-GVT-P	42
5.2.6	Vrtljiva miza z gnanim valjčnim transporterjem VM-GVT	42
5.2.7	Gnani poravnalnik palete	43
5.2.8	Vertikalni transporter z gnanim verižnim transporterjem DV-VRT	44
5.3	Sestavljanje blokov v delujočo celoto	45
6	Sklep	47
	Literatura	49

Kazalo slik

Slika 1.1: Avtomatsko regalno dvigalo in regalna konstrukcija.....	2
Slika 1.2: Sistemi avtonomnega avtomatskega skladišča.....	3
Slika 2.1: Transporterji in poti v pritličju.....	5
Slika 2.2: Transporterji in poti v nadstropju.....	6
Slika 2.3: Valjčni transporter prekladalnika	7
Slika 2.4: Verižni transporter, predaja na voz	8
Slika 2.5: Gnani poravnalnik palet z označenimi možnimi potmi	9
Slika 2.6: Poravnalnik TSE za avtomatsko regalno dvigalo	10
Slika 2.7: Vrtljiva miza z verižnim transporterjem in valjčnim prekladalnikom	11
Slika 2.8: Vrtljivi mizi z gnanim valjčnim transporterjem (oddaja/sprejem).....	12
Slika 2.9: Vertikalni transporter z gnanim verižnim transporterjem v zgornjem položaju (levo) in v spodnjem položaju (desno).....	13
Slika 2.10: Kontrola dna TSE.....	14
Slika 2.11: Vizualna predstava odstopanja – razlog zavrnitve.....	15
Slika 2.12: Transportni voz z dvema gnanima verižnima transporterjema voz2vrt (skica).....	18
Slika 2.13: Transportni voz s teleskopskimi vilicami	19
Slika 2.14: Premični vertikalni posluževalec	20
Slika 3.1: Krmilnik z varnostno funkcijo	22
Slika 3.2: Delovanje varnostne zavese	23
Slika 3.3: Varnostna kamera.....	24
Slika 3.4: Mobilni panel in vmesnik [7]	26
Slika 3.5: Frekvenčni pretvornik na motorju.....	27
Slika 3.6: Modularni frekvenčni pretvornik za elektro omaro [8].....	27
Slika 4.1: Logična slika sprejema v pritličju	30
Slika 4.2: Premik logičnega elementa palete med transporterjema z eno logično lokacijo	31
Slika 4.3: Premik palete iz polno zasedenega transporterja z dvema logičnima lokacijama ...	33
Slika 5.1: Pogoji za izvajanje ukaza	35
Slika 5.2: Primer smeri potovanja palete.....	36
Slika 5.3: Primer pogojev sprejem, oddaja in internega premika.....	37
Slika 5.4: Shema izvajanja programske logike za en tip transporterja.....	38
Slika 5.5: Programska koda, kjer blokom povemo, kdo so njihovi sosedi.....	46

Povzetek

Naslov: Avtomatizacija skladišča

Za potrebe skladiščenja velikega števila palet z visokim pretokom se v zadnjem času pogosto uporablja avtomatska regalna skladišča. Za premikanje palet v avtomatskem regalnem skladišču v največji meri skrbi množica naprav, od transportnih sistemov, vozičkov, do regalnih dvigal. Od vnosa materiala v skladišče do odpreme sistem ne zahteva posredovanja operaterjev, saj glede na potrebe vse premike materiala opravlja avtomatsko. To naročniku omogoča neprekinjeno obratovanje z minimalno delovno silo.

V diplomskem delu obravnavamo transportni sistem v avtomatskem regalnem skladišču. Transportni sistem skrbi za vnos materiala v skladišče, interno uporabo v proizvodnji in odpremo končnih izdelkov. Premike materiala, skladiščenega na paletah, opravljajo različne naprave transportnega sistema. Glavni prispevek diplomskega dela predstavlja programska oprema, napisana za programirljive logične krmilnike, ki omogoča poljubno konfiguracijo transportnih sistemov. Programska oprema je modularna, sestavljena iz več funkcijskih blokov, kjer vsak funkcijski blok predstavlja zaključeno celoto programske logike za eno napravo in omogoča standardni postopek izmenjave informacij s vsemi drugimi funkcijskimi bloki. Programska oprema trenutno podpira osem različnih tipov gradnikov transportnega sistema, ki jih lahko poljubno povezujemo med seboj za ustvarjanje zaključene celote poljubne velikosti in kompleksnosti. Ta način izdelave programske opreme nam omogoča enostavne in hitre razširitve ter uporabo programske opreme na naslednjih projektih. Za nov tip transportne naprave moramo pripraviti ustrezen funkcijski blok, ki se drži vzpostavljenih standardov za izmenjavo informacij in skrbi za obratovanje nove transportne naprave.

Programska oprema je uporabljena za transportni sistem, ki ga sestavlja sto štirideset enot. Izkazala se je za zanesljivo, saj transportni sistem že leto dni obratuje brez težav.

Ključne besede: avtomatsko skladišče, transportni sistem, programiranje, programirljivi logični krmilniki.

Abstract

Title: Warehouse automation

An automated high bay warehouse is commonly used for storing large number of material with a high throughput. In an automated warehouse pallet movements are mainly performed by a number of automated devices like conveyors systems, trolleys, and stacker cranes. From the introduction of the material to the automated warehouse system to its dispatch the system requires no operator input or intervention since all material movements are done automatically. This allows the automated warehouse to operate continuously with minimal manpower.

The thesis focuses on a conveyor system within an automated warehouse. The conveyor system is responsible for the intake of material into the warehouse, internal use of material in the production, and dispatch of finished products. The material is stored on pallets, which are used to transport the material over different types of conveyors. The main contribution of the thesis is a software written for a programmable logic controller, which allows an arbitrary configuration of a conveyor system. The software is modular and consists of several so-called function blocks, where each function block represents the whole program logic for a single conveyor and uses a standard interface for information exchange with other function blocks. The software currently supports eight different types of conveyors, which can be freely linked with one another to create a conveyor system, of any size and complexity. The software allows for simple extension of existing project, and rapid development of new projects. To add a new type of conveyor only we need to create a new function block, which is following the now established standards for information exchange and supports all functionalities of the new conveyor type.

The software is used on the conveyor system which consists of one hundred forty units. The software has proved to be reliable, since it has been operating without problems for more than one year.

Keywords: automated warehouse, conveyor system, programming, programmable logic controllers.

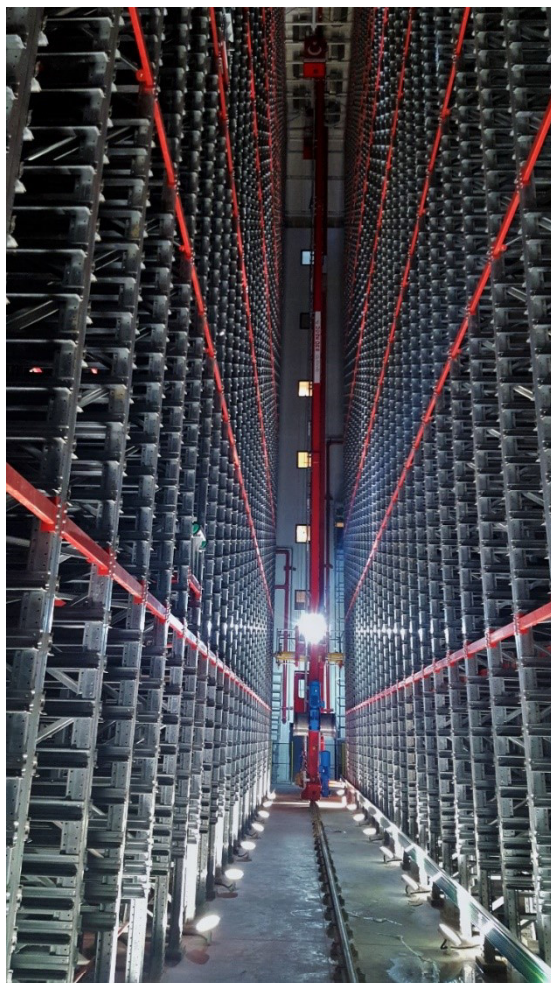
1 Uvod

Skladišče je objekt za hrambo materiala. Uporabljajo ga proizvajalci, uvozniki, izvozniki, carine in še mnogi drugi. Material se odlaga na ustrezne transportno-skladiščne enote, ki omogočajo enostavno manipulacijo z viličarji, dvigali ali drugimi transportnimi sistemi. Tipične transportno-skladiščne enote so palete, pladnji in zaboji [1].

S terminom avtomatika opisujemo obratovanje naprav pod nadzorom različnih krmilnih sistemov. Glavne prednosti avtomatike so zmanjšanje števila zaposlenih, človeškega napora, optimizacija porabe energije in materiala, izboljšanje stopnje ponovljivosti, natančnosti in kakovosti [2].

Popolnoma avtomatska skladišča se tipično uporabljajo tam, kjer je zahtevana:

- visoka količina pretoka materiala skozi skladišče (vhod/izhod),
- visoka stopnja natančnosti, zanesljivosti, zmožnosti neprestanega obratovanja,
- najvišja stopnja izkoristka prostora (prikazano na sliki 1.1),
- uporaba človeku neprijaznega okolja, kot so hladilnice in skladišča za živila, kjer vlada mraz, kotlovnice, kjer vlada vročina, skladišča z nizko ravnijo kisika (knjižnice in skladišča z lahko vnetljivimi materiali) in skladišča eksplozivnih ter človeku neprijaznih materialov.



Slika 1.1: Avtomatsko regalno dvigalo in regalna konstrukcija

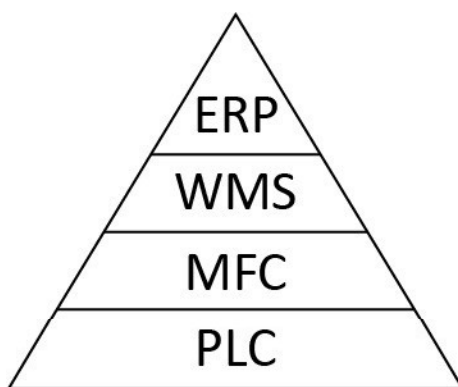
Znotraj avtomatskega skladišča se material na transportno-skladiščnih enotah skladišči v regalni konstrukciji, ki omogoča najboljši izkoristek prostora. Regalna dvigala skrbijo za premik materiala v regalno konstrukcijo in iz nje ter so zmožna skladiščiti na velikih višinah in mnogo hitreje, kot to dosejajo skladiščniki s klasičnimi viličarji. Transport materiala od vstopnih in izstopnih točk do regalnih dvigal se izvaja z različnimi napravami transportnega sistema. Naprave transportnega sistema delujejo tudi kot vmesni pomnilnik in hranijo material, preden ga dvigala prevzamejo. Kjer je potrebna večja hitrost, material med transportnimi linijami premikajo avtomatski vozički. Vse te naprave so zasnovane tako, da porabijo kar najmanj prostora [3].

Popolnoma avtomatsko skladišče lahko upravlja le peščica izurjenih operaterjev in skladiščnikov, ki uskladiščujejo in izskladiščujejo transportne skladiščne enote s temu namenjenih mest. Transportne skladiščne enote se premikajo po sistemu avtomatiziranih transporterjev, vozičkov, dvigal in ostalih naprav glede na potrebe sistema.

Z avtomatskimi napravami transportnega sistema razbremenimo operaterje, saj s sistemom komunicirajo le še prek vstopnih in izstopnih točk, sistem pa poskrbi, da skladiščna transportna enota pride na zahtevano lokacijo.

Avtomatsko skladišče je v fazi načrtovanja in izvedbe bistveno zahtevnejše od klasičnih skladišč, saj je sestavljeno iz veliko več elementov, kot so naprave transportnega sistema, dvigala in vozički, ki jih je treba mehansko, električno in programsko načrtovati in izdelati. Za razliko od tradicionalnega skladišča je v avtomatskem skladišču poudarek na načrtovanju, ker prostorske omejitve močno omejijo kasnejše spremembe. Temu primerno je do začetka uporabe sistema potreben večji časovni in denarni vložek.

Popolnoma avtomatska skladišča so sestavljena iz več podsistemov, prikazanih v ravneh na sliki 1.2, kjer najnižjo raven predstavljajo programirljivi logični krmilniki (angl. programmable logic control, PLC), ki skrbijo za obratovanje naprav. Drugo raven predstavlja sistem za pretok palet (angl. material flow control, MFC), ki skrbi za razvrščanje palet, optimizacijo in usklajevanje različnih naprav. Tretja raven predstavlja sistem za nadzor skladišča (angl. warehouse management system, WMS), ki je odgovoren za planiranje in administracijo skladišča. Najvišja, četrta raven predstavlja informacijski sistem podjetja (angl. enterprise resource planning, ERP), ki med drugim skrbi za integracijo nižjih sistemov v poslovno shemo, načrtovanje produkcije, proizvodnjo in dostavo, marketing in prodajo.



Slika 1.2: Sistemi avtonomnega avtomatskega skladišča

V diplomskem delu se bomo osredotočili na programski del transportnega sistema.

V naslednjem poglavju bomo predstavili projekt popolnoma avtomatskega skladišča z vsemi napravami, ki izvajajo premike transportno-skladiščnih enot, v našem primeru palet. V tretjem poglavju bomo spoznali glavne elektronske naprave, iz katerih so sestavljeni krmilni sistemi. V četrtem poglavju je predstavljeno naše delo, s poudarkom na glavnih programskih konceptih in krmilni logiki. V zaključku bomo povzeli celotno delo in podali sklepne misli.

2 Predstavitev projekta

V okviru tega poglavja bomo predstavili sistem in skladiščne enote, spoznali gradnike transportnega sistema in ostale naprave ter predstavili, kako smo te združili v funkcionalne skladiščne enote [4].

2.1 Pregled sistema

Transportni sistem skladišča v osnovi lahko razdelimo na pritličje in nadstropje. Pritličje je primarno namenjeno uskladiščenju in odpremi, nadstropje pa oskrbovanju pakirnic s surovinami iz skladišča ter uskladiščenju proizvodov pakirnic.

2.1.1 Pritličje

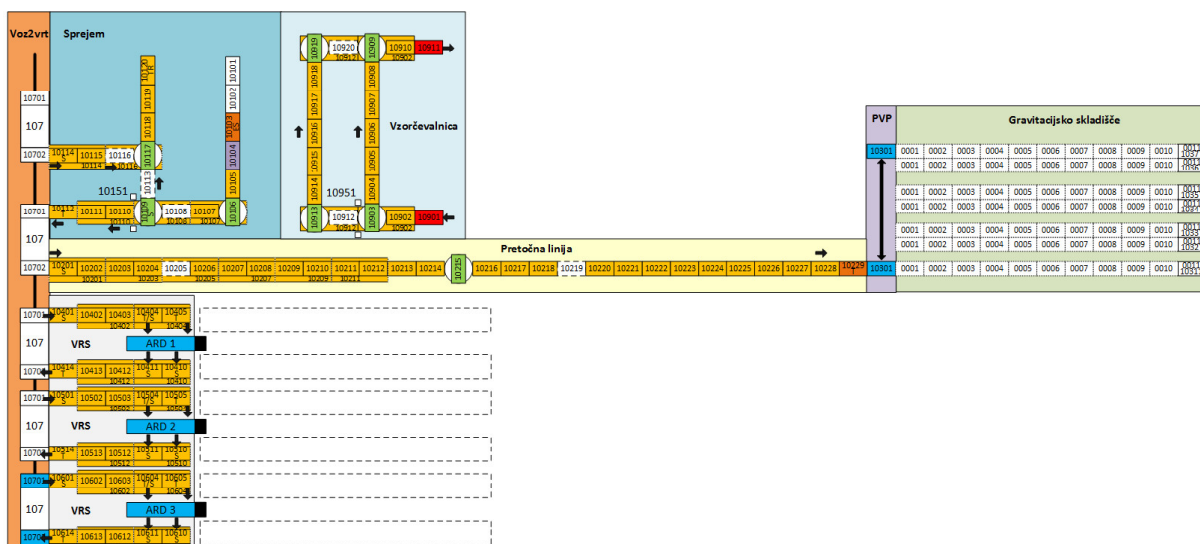
Enota sprejem je primarno namenjena vnosu palet v skladišče. Tu skladiščniki palete odlagajo na prvi transporter. Vsaka paleta je lahko sprejeta ali zavrnjena. Zavrnjeno paletu sistem preusmeri na izhodno linijo sprejema, kjer jo skladiščniki odstranijo.

Ob sprejemu paleta nadaljuje pot na voziček in nato na transportno linijo v visokoregalno skladišče (VRS), kjer jo eno izmed treh avtomatskih regalnih dvigal uskladišči v regalno konstrukcijo.

Operater lahko pokliče želeno paletu na izhodno linijo sprejema. Avtomatsko dvigalo izskladišči izbrano paletu ter jo dostavi na transportno linijo VRS, kjer paleta nadaljuje pot na voziček. Voziček paletu prepelje iz visokoregalnega skladišča do izhodne linije sprejema.

Operaterji so zadolženi tudi za odpremo. V tem primeru dvigala izskladiščijo naročene palete in jih dostavijo na transportno linijo VRS, kjer palete nadaljujejo pot na voziček. Voziček paletu prepelje do pretočne linije, nato pa ta pot nadaljuje po pretočni liniji do pretočnega vertikalnega posluževalca (PVP), ki paletu odloži v gravitacijsko skladišče. Gravitacijsko skladišče je sestavljeno iz 19 linij na treh ravneh. Valjčki na vsaki liniji so nameščeni pod manjšim naklonom, ki omogoča kontrolirano premikanje palet z enega na drugi konec linije. Iz gravitacijskega skladišča palete pobirajo z viličarji in jih nalagajo na tovarnjake.

Vzorčevalnica je neodvisna enota v skladišču, deli se na dva čista prostora, skozi katera sta speljani dve transportni liniji. Po transportnih linijah prispe paleta z materialom za vzorčenje in na zahtevo tehnika pot nadaljuje na izhod. Prehod med čistim in zunanjim prostorom nadzirajo tehnološka vrata, ki se odpirajo in zapirajo po zaporedju, ki preprečuje okužbo čistega prostora z nečistočami iz zunanjega okolja. Slika 2.1 prikazuje vse skladiščne enote z oznakami transporterjev v pritličju.



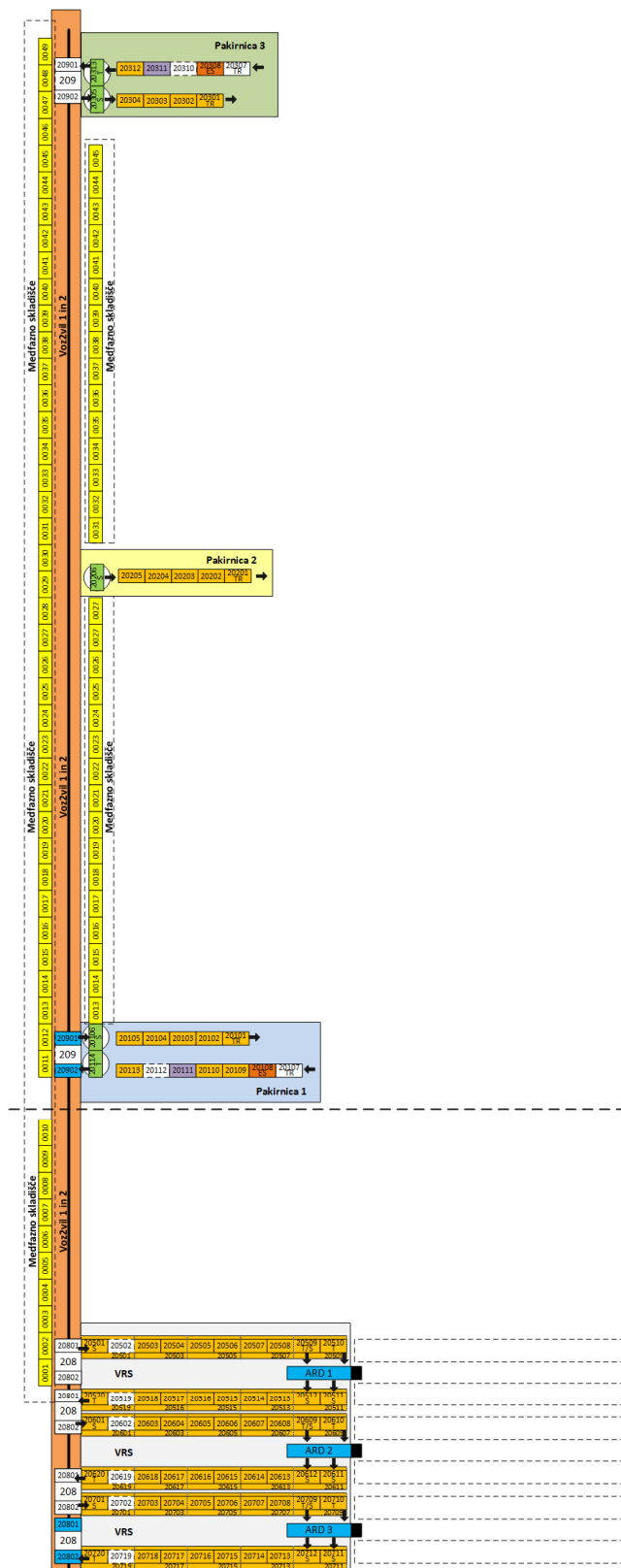
Slika 2.1: Transporterji in poti v pritličju

2.1.2 Nadstropje

Pakirnice 1, 2, 3 skrbijo za sprejem in izdajo palet. V primeru sprejema operaterji z ročnimi manipulatorji odložijo paletu na prvi transporter vhodne linije. Vsaka paleta je lahko sprejeta ali zavrnjena. Zavrnjeno paletu sistem preusmeri nazaj na vhodni transporter, kjer jo operaterji odstranijo.

Ob sprejemu paleta nadaljuje pot na voziček in nato na transportno linijo v VRS, kjer jo eno izmed treh avtomatskih regalnih dvigal uskladišči v regalno konstrukcijo.

Tehnik lahko pokliče želeno paletu na izhodno linijo pakirnice. Avtomatsko dvigalo izskladišči izbrano paletu ter jo dostavi na transportno linijo VRS, kjer ta nadaljuje pot na voziček. Voziček paletu prepelje iz VRS do ustrezne pakirne linije. Ob progi vozička je tudi medfazno skladišče, ki se uporablja za hrambo materiala v primeru, ko so predajna mesta zasedena. Medfazno skladišče lahko tehniki izkoriščajo tudi za hrambo pogosto uporabljenega materiala. Slika 2.2 prikazuje skladiščne enote in oznake transporterjev v nadstropju.



Slika 2.2: Transporterji in poti v nadstropju

2.2 Gradniki transportnega sistema

Transporterji so naprave, ki skrbijo za premik palet. Za lastno obratovanje in zaznavanje palet uporabljajo različne senzorje. Transporterji so lahko gnani:

- direktno, kjer elektromotorju napajamo z omrežno napetostjo, ali
- prek frekvenčnega pretvornika, s katerim lahko nadziramo hitrost vrtenja motorja.

V nadaljevanju so predstavljeni gradniki transportnega sistema, iz katerih so sestavljene funkcionalne skladiščne enote sprejem, pretočna linija, vzorčevalnica, pakirnice in VRS.

2.2.1 Valjčni transporter GVT

Valjčni transporter, prikazan na sliki 2.3, uporablja valjčke za transport palete. Dno palete je na valjčnem transporterju postavljeno prečno na valjčke in vzporedno s smerjo gibanja.

Vsak valjčni transporter je opremljen s fotocelico, ki zazna prisotnost palete. V primeru, da bomo izvajali poravnavo ali natančno ustavljali palete, je transporter opremljen z dodatno fotocelico, ki nam sporoči, da je treba znižati hitrost.



Slika 2.3: Valjčni transporter prekladalnika

2.2.2 Verižni transporter VRT

Verižni transporter, prikazan na sliki 2.4, uporablja verigi za transport palete. Dno palete je na verižnem transporterju postavljeno prečno na verigo in smer gibanja.

Obstajata dve različici verižnega transporterja:

- transporter z enim paletnim mestom, ki ga obravnavamo na enak način kot transporter GVT,
- transporter z dvema paletnima mestoma, kjer ima vsako mesto svojo fotocelico za zaznavanje palete.



Slika 2.4: Verižni transporter, predaja na voz

2.2.3 Prekladalnik z gnanim valjčnim transporterjem GVT-P

Prekladalnik z GVT, prikazan na sliki 2.5, je namenjen prelaganju palete iz valjčnega na verižni transporter in obratno, pri čemer se smer transporta palete spremeni za 90 stopinj. Pri tem paleta ohrani prvotno orientacijo. Prekladalnik stoji med stranicami verižnega transporterja, ki je samostojna naprava.

Prekladalnik ima induktivni senzor za zgornji in spodnji položaj ter fotocelico za prisotnost palete. V primeru, da bomo izvajali poravnavo ali natančno ustavljali palete, je transporter opremljen z dodatno fotocelico za zmanjšanje hitrosti gibanja. Dvig je gnan direktno, pogon

valjčkov pa je odvisen od aplikacije. V primeru, da je treba izvajati poravnavo ali natančno ustavljati palete, je krmiljen s frekvenčnim pretvornikom, drugače direktno.

2.2.4 Gnani poravnalnik palete

Gnani poravnalnik palete, prikazan na sliki 2.5, se uporablja, kjer lahko paleta nadaljuje po dveh različnih poteh. Uporabljen je enako kot poravnalna ovira za poravnavo palet. Poravnalnik se dvigne v primeru, ko je zahtevana sprememba smeri, drugače miruje v spodnjem položaju.

Dvig poravnalnika je krmiljen z uporabo dveh induktivnih senzorjev, kjer prvi sporoča spodnji in drugi zgornji položaj. Motor poravnalnika je gnan direktno.



Slika 2.5: Gnani poravnalnik palet z označenimi možnimi potmi

2.2.5 Poravnalnik palete za avtomatsko regalno dvigalo POR-ARD

Poravnalnik palete za avtomatsko regalno dvigalo, prikazan na sliki 2.6, uporabljamo za natančno poravnavo palete pred predajo avtomatskim regalnim dvigalom. Poravnalnik palete je umeščen med verigi verižnega transporterja, po katerem prihajajo palete. Uporablja dve fotocelici, kjer ob prekinitvi prve upočasnimo verižni transporter in ob prekinitvi druge tega zakasnjeno ustavimo, kar zagotovi poravnavo palete v smeri potovanja. Sledi dvig poravnalnika, ki privzdigne paletu iz verižnega transporterja in jo nabije ob poravnalo oviro, kar zagotovo poravna paletu v smeri prevzema z dvigalom. V tem položaju ostane, dokler avtomatsko regalno dvigalo ne prevzame palete.

Dvig poravnalnika je krmiljen z uporabo dveh induktivnih senzorjev, kjer prvi sporoča spodnji in drugi zgornji položaj. Motor poravnalnika je gnan direktno, motor za verižnik pa s frekvenčnim pretvornikom.



Slika 2.6: Poravnalnik TSE za avtomatsko regalno dvigalo

2.2.6 Vrtljiva miza z verižnim transporterjem in valjčnim prekladalnikom VRT-VM-GVT-P

Vrtljiva miza z verižnim transporterjem in valjčnim prekladalnikom, prikazana na sliki 2.7, je uporabljena na mestih, kjer želimo preiti z verižnega na valjčni transporter, brez spremembe smeri potovanja. Vrtljiva miza z verižnim transporterjem in valjčnim prekladalnikom sprejme paleto po verižnem transporterju VRT, to nabije ob poravnalno oviro, nakar paleto dvigne prekladalnik GVT-P. Vrtljiva miza se obrne za 90°, pri čemer so valjčki prekladalnika GVT-P poravnani z nadaljnjimi valjčnimi transporterji. Paleta nadaljuje pot v izvirni smeri, obrnjena za 90°.

Vrtenje mize je krmiljeno z uporabo treh induktivnih senzorjev in dveh končnih stikal, kjer dva izmed treh induktivnih senzorjev predstavljata končni položaj mize (v vsako smer eden) in tretji sporoča, da je miza blizu končnega položaja in lahko upočasnim vrtenje. Končni stikali sta nameščeni v skrajni legi vrtenja mize (v vsako smer) in varujeta vrtljivo mizo pred pretiranim zasukom. Ob proženju varno izklopita gibanje motorja za vrtenje mize.

Dve dodatni fotocelici skrbita za preverjanje prostega prehoda. Ena je nameščena na vhodnem, druga pa na izhodnem transporterju. Če je ena od fotocelic prekinjena, se vrtenje mize takoj zaključi. Motor za vrtenje je gnan prek frekvenčnega pretvornika.



Slika 2.7: Vrtljiva miza z verižnim transporterjem in valjčnim prekladalnikom

2.2.7 Vrtljiva miza z gnanim valjčnim transporterjem VM-GVT

Vrtljiva miza z gnanim valjčnim transporterjem, prikazana na sliki 2.8, je uporabljena za sprejem/oddajo iz vozička voz2vil. Uporablja se, ker je paleta na vozičku voz2vil orientirana pravokotno na valjčne transporterje. Pred izmenjavo palete je treba zagotoviti enako orientacijo prevzemno-oddajnega mesta. To dosežemo z vrtljivo mizo z gnanim valjčnim transporterjem, ki se obrne za 90°.

Vrtenje mize je krmiljeno z uporabo štirih induktivnih senzorjev, kjer dva izmed treh induktivnih senzorjev predstavljata končni položaj mize (v vsako smer eden), dva pa sporočata, da je miza blizu končnega položaja in lahko upočasnim vrtenje mize. Za razliko od VRT-VM-GVT-P je pretirani zasuk mize preprečen z mehansko blokado, zato kočna stikala niso potrebna.

Prost prehod palete se preverja z dvema fotocelicama, prva je na vrtljivi mizi, druga pa na prehodnem transporterju.

Motor za vrtenje je gnan prek frekvenčnega pretvornika, motor za valjčke je pri sprejemu gnan direktno, pri oddaji pa (zaradi poravnave palete) prek frekvenčnega pretvornika.



Slika 2.8: Vrtljivi mizi z gnanim valjčnim transporterjem (oddaja/sprejem)

2.2.8 Vertikalni transporter z gnanim verižnim transporterjem DV-VRT

Vertikalni transporter z gnanim verižnim transporterjem, prikazan na sliki 2.9, uporabljamo v pakirnicah, kjer je uporaba viličarjev in drugih motoriziranih premičnih dvižnih naprav nemogoča zaradi visoke stopnje čistoče in vibracij, ki jih ti povzročajo. Vertikalni transporter z gnanim verižnim transporterjem je sestavljen iz verižnega transporterja in dvižnega mehanizma, s katerim dviga/spušča verižni transporter glede na potrebe.

Dvig mize je nadzorovan z inkrementalnim dajalnikom položaja, ki frekvenčnemu pretvorniku sporoča položaj mize. Podatek o položaju omogoča frekvenčnemu pretvorniku hitrejše, zanesljivejše in bolj natančno upravljanje dviga. Inkrementalni dajalnik je pritrjen na os motorja, ki upravlja z dvigom. Ob zdrsni sklopke ali preskoku verige bi prišlo do razlike med dejanskim in izmerjenim položajem, zato so potrebna dodatna varovala. Uporabljeni sta dve končni stikali, ki sta nameščeni v skrajni legi dviga mize (v vsako smer) in mizo varujeta pred prekoračitvijo delovnega območja in povzročitvijo poškodbe naprave. Ob aktivaciji varno izklopita gibanje motorja za dvig.

Zaradi nevarnosti poškodbe ljudi in opreme je dvig mize varovan z varnostno kamero. Ob aktivaciji kamere se zaradi varnosti izklopi gibanje motorja za dvig.

Motor za dvig in verižni transporter sta gnana prek frekvenčnega pretvornika.



Slika 2.9: Vertikalni transporter z gnanim verižnim transporterjem v zgornjem položaju (levo) in v spodnjem položaju (desno)

2.2.9 Kontrola palet

Kontrola palet je sestavljena iz kontrole dimenzij, dna palete, teže, črtne kode in vizualizacije stanja.

2.2.9.1 Kontrola dimenzij

Pri kontroli dimenzij s fotocelicami preverimo, ali sta paleta in tovor primernih dimenzij za skladiščenje. Istočasno preverimo tudi višinski razred tovara, kjer s številom prekinjenih fotocelic izvedemo njegovo višino. Kontrola dimenzij je sestavljena iz:

- dveh fotocelic, s katerima preverjamo širino palet in tovara (levo, desno),
- dveh fotocelic, s katerima preverjamo višino palet in tovara,
- svetlobne zaveso, ki s pomočjo dveh fotocelic, nameščenih pred in za zaveso, preverja previs tovara čez paleto.

2.2.9.2 Kontrola dna palete

Kontrola dna palete, prikazana na sliki 2.10, preverja strukturno ustreznost in integriteto palete, kar zagotovi, da bodo vse nadaljnje naprave lahko manipulirale z njo. Kontrola dna palete je integrirana v valjčni transporter. Morebitne poškodbe in odstopanja od ustrezne strukture palete premaknejo loparje in sprožijo senzorje.



Slika 2.10: Kontrola dna TSE

2.2.9.3 Kontrola teže

Kontrolo teže izvajamo z industrijsko tehtnico, vgrajeno v noge transporterja, ki je podrobneje predstavljena v poglavju 3.3.2. Kontrola teže je potrebna, da ne pride do poškodbe naprav.

2.2.9.4 Kontrola črtne kode

Paleta razlikujemo med seboj po črtni kodi, zato mora biti ta prisotna na vsaki paleti, ustrezna in nepoškodovana. Vse to preverjamo s čitalnikom črtne kode, ki je podrobneje predstavljen v poglavju 3.3.2.

2.2.9.5 Vizualizacija stanja

V primeru odstopanj mora biti to jasno prikazano uporabniku. Vizualizacijo odstopanj izvajamo z uporabniškim vmesnikom, ki je sestavljen iz slike palete ter tovora in osvetlitve različnih odstopanj prikazano na sliki 2.11:

- tovor preširok levo,
- tovor preširok desno,
- tovor – previs zadaj,
- tovor – previs spredaj,
- tovor previsok,
- tovor pretežak,

- napačna/manjkajoča črna koda palet.



Slika 2.11: Vizualna predstava odstopanja – razlog zavrnitve

2.2.10 *Avtomatski ovijalec AV*

Avtomatski ovijalec skrbi za ovijanje palet. Sprejem in oddajo palet opravlja z vgrajenim gnanim valjčnim transporterjem. Ob sprejemu palete ovijalec prične z ovijanjem, kjer gnani valjčni transporter s paleto vrti okoli svoje osi in jo s tem ovija. Višina ovijanja je odvisna od višine tovara na paleti.

2.3 Združevanje elementov transportnega sistema v funkcionalne enote

V nadaljevanju bo za vsako skladiščno enoto transportnega sistema predstavljeno, iz katerih gradnikov je sestavljena. Razporeditev elementov transportnega sistema in funkcionalnih enot lahko vidimo na slikah 2.1 in 2.2.

2.3.1 *Pritličje*

2.3.1.1 Sprejem

- 10101–10105: linija transporterjev GVT s kontrolo dimenzij, ki stoji pred transporterjem z oznako 10103 in avtomatskim ovijalcem na mestu 10104,
- 10106: prekladalnik GVT-P, ki paleto preda dvomestnemu transporterju VRT 10106,
- 10109: križišče, ki je sestavljeno iz: transporterja VRT z enim paletnim mestom, gnanega poravnalnika 10151 in prekladalnika GVT-P, s katerim lahko preusmerimo palet na izhodno linijo 10109–10120,

- 10110–10112: linija transporterjev VRT, ki vodijo paleta do vozička voz2vrt,
- 10114–10117: linija transporterjev VRT, ki predstavlja en del izhodne linije. Do transporterja 10114 paleta pripelje voziček voz2vrt,
- 10109–10120: izhodna linija transporterjev GTV.

2.3.1.2 Pretočna linija

- 10201–10214: linija transporterjev VRT, na katero palete pripelje voziček voz2vrt,
- 10215: vrtljiva miza VRT-VM-GVT-P,
- 10216–10229: linija transporterjev GTV.

2.3.1.3 Transporterji pred visokoregalnim skladiščem v pritličju

Visoko regalno skladišče (VRS) je sestavljeno iz treh identičnih skupin transporterjev 10sxx, kjer s predstavlja oznako skupine (4, 5, ali 6), xx pa predstavlja zadnji dve številki oznake transporterja:

- 10s01–10s03: vhodna linija transporterjev VRT v skladišče, ki prevzame paleta iz vozička voz2vrt,
- 10s04: poravnalnik palet POR-ARD za avtomatsko regalno dvigalo,
- 10s10–10s14: izhodna linija transporterjev VRT iz skladišča, kjer voziček voz2vrt prevzame paleta iz transporterja 10s14.

2.3.2 Nadstropje

2.3.2.1 Pakirnica 1

- Vhodno linijo v pakirnico 1 sestavljajo:
 - 20106: vrtljiva miza VM-GVT, na katero voziček voz2vil odloži paleta,
 - 20102–20105: linija transporterjev GVT,
 - 20101: dvizna miza DV-VRT, kjer paleta spustimo na višino, dostopno z ročnim viličarjem.
- Izhodno linijo iz pakirnice 1 sestavljajo:
 - 20107: dvizna miza DV-VRT, na katero paleta odložimo z ročnim viličarjem,
 - 20108–20113: linija transporterjev GVT s kontrolo dimenzij, ki stoji pred transporterjem z oznako 20108 in avtomatskim ovijalcem na mestu 20111,
 - 20114: vrtljiva miza VM-GVT, ki pripravi paleta za pobiranje z vozičkom voz2vil.

2.3.2.2 Pakirnica 2

- Vhodno linijo v pakirnico 2 sestavljajo:
 - 20206: vrtljiva miza VM-GVT, na katero voziček voz2vil odloži paleta,
 - 20202–20205: linija transporterjev GVT,

- 20201: dvizna miza DV-VRT, kjer paleta spustimo na višino, dostopno z ročnim viličarjem.

2.3.2.3 Pakirnica 3

- Vhodno linijo v pakirnico 3 sestavljajo:
 - 20305: vrtljiva miza VM-GVT, na katero voziček voz2vil odloži paleta,
 - 20302–20104: linija transporterjev GVT,
 - 20301: dvizna miza DV-VRT, kjer paleta spustimo na višino, dostopno z ročnim viličarjem.
- Izhodno linijo iz pakirnice 3 sestavljajo:
 - 20307: dvizna miza DV-VRT, na katero paleta odložimo z ročnim viličarjem,
 - 20308–20313: linija transporterjev GVT s kontrolo dimenzij, ki stoji pred transporterjem z oznako 20308 in avtomatskim ovijalcem na mestu 20311,
 - 20313: vrtljiva miza VM-GVT, ki pripravi paleta za pobiranje z vozičkom voz2vil.

2.3.2.4 Transporterji pred visokoregalnim skladiščem v nadstropju

Visoko regalno skladišče (VRS) je sestavljeno iz treh identičnih skupin transporterjev 20sxx, kjer s predstavlja oznako skupine (5, 6, 7), xx pa predstavlja zadnji dve številki oznake transporterja:

- 20s01–20s08: je vhodna linija transporterjev VRT v skladišče, ki prevzame paleta iz vozička voz2vil,
- 20s09: je poravnalnik palet POR-ARD za avtomatsko regalno dvigalo,
- 20s11–20s20: je izhodna linija transporterjev VRT iz skladišča, kjer voziček voz2vil paleta pobere iz transporterja 20s20.

2.4 Ostale naprave v skladišču

Ostale naprave opravljajo premik paleta med transportnimi linijami, regalno konstrukcijo, medfaznim skladiščem ali pa v pretočne regale. Vozički so uporabljeni, kjer je zahtevan večji prehod palet, kot je zmožen transport. Dvigala ARD in dvigalo PVP so uporabljeni, kjer je poleg večjega prehoda zahtevan še vertikalni premik.

2.4.1 Avtomatsko regalno dvigalo – ARD

Avtomatsko regalno dvigalo skrbi za prenos palet iz transportnega sistema v regalno konstrukcijo ter obratno. Paleta sprejema in oddaja z enim izmed dveh paletnih mest s teleskopski vilicami, ki se gibljejo po globini. Sprememba višine vilic je odvisna od celotne platforme, na kateri sta obe paletni mesti. Vertikalni premik/sprememba višine platforme je dosežena z jeklenico, ki se navija/odvija na motorsko gnan boben. Horizontalni premik/vožnjo

izvaja motor, ki žene pogonsko kolo. V skladišču so nameščena tri avtomatska regalna dvigala v skladiščni enoti VRS, prikazani na slikah 2.1 in 2.2.

2.4.2 Transportni voziček z dvema gnanima verižnima transporterjema voz2vrt

Transportni voziček z dvema gnanima verižnima transporterjema, prikazan na sliki 2.12, skrbi za prenos palet med transportnimi linijami. Paleta sprejema in oddaja z enim izmed dveh gnanih verižnih transporterjev. Horizontalni premik/vožnjo izvaja motor, ki žene pogonsko kolo.



Slika 2.12: Transportni voz z dvema gnanima verižnima transporterjema voz2vrt (skica)

2.4.3 Transportni voziček s teleskopskimi vilicami voz2vil

Transportni voziček s teleskopskimi vilicami skrbi za prenos palet med transportnimi linijami in medfaznim skladiščem. Palete sprejema in oddaja z enim izmed dveh paletnih mest s teleskopski vilicami, ki se gibljejo po globini in višini, kar omogoča prevzem/oddajo palet iz medfaznega skladišča in transportnega sistema. Horizontalni premik/vožnjo izvaja motor, ki žene pogonsko kolo.

V skladišču sta na eni progi nameščena dva vozička. Eden skrbi za prevoz palet iz visokoregalnega skladišča v medfazno skladišče v pakirnici, drugi pa iz medfaznega skladišča v pakirnici do pakirnih linij.



Slika 2.13: Transportni voz s teleskopskimi vilicami

2.4.4 Premični vertikalni posluževalec PVP

Premični vertikalni posluževalec skrbi za prenos palet iz gnanega valjčnega transporterja v prosto tekoče valjčne linije gravitacijskega skladišča. Sprejem in oddajo palet opravlja z gnanim valjčnim transporterjem na njem. Gravitacijsko skladišče je pod naklonom $2,5^\circ$, kar mora upoštevati tudi PVP pred predajo palet. To doseže z nagibom valjčnega transporterja na njem, pred predajo palete v skladišče. Vertikalni premik/spremembo višine gnanega valjčnega transporterja izvajata motor z uporabo verige. Horizontalni premik/vožnjo izvajata motor, ki žene pogonsko kolo.



Slika 2.14: Premični vertikalni posluževalec

3 Oprema

V tem poglavju bomo predstavili uporabljeno elektro opremo in razloge za njeno uporabo.

3.1 Programirljivi logični krmilnik – PLK

Programirljivi logični krmilnik je digitalni računalnik, uporabljen za avtomatizacijo naprav, kot so vozi, dvigala in transporterji. Obstaja v mnogih oblikah (kompaktni, modularni, za posebne izvedbe) in uporablja digitalne ter analogne vhode ter izhode. Programska/obratovalna logika je shranjena na baterijsko napajanjem ali neizbrisljivem mediju. PLK je sistem, ki obratuje v realnem času. Ta se mora odzvati v omejenem času, drugače se lahko krmiljena naprava ne odzove pravilno in lahko povzroči škodo oziroma poškodbo ali celo smrt človeka [5].

Za krmiljenje transporta smo uporabili dva programirljiva logična krmilnika, kjer vsak nadzira in krmili naprave v svojem nadstropju (pritličje/nadstropje).

Premične naprave (voz2vrt, voz2vil1 in 2 ter PVP) imajo vsaka svoj PLK, kar jim zagotovi neodvisno in nemoteno obratovanje.

3.2 Varnostni elementi

Projekt je zahteval obravnavo, ocenjevanje in odziv na varnostne elemente, kot so: stop tipka, varovana vrata, končna stikala, varnostne zavese, kamere in ostalo varnostno periferijo. Odločili smo se uporabiti programirljivi logični krmilnik, ki je sposoben obravnavanja krmilne in varnostne logike ter periferije, kar nam zagotavlja enostavno spremembo varnostnih funkcij, prepletanje varnostnih in krmilnih logik, enostaven dostop do varnostnih funkcij in urejanje varnostnih ter krmilnih funkcij v istem programskem okolju brez dodatnega znanja. Uporabljen programirljivi logični krmilnik je prikazan na sliki 3.1.



Slika 3.1: Krmilnik z varnostno funkcijo [9]

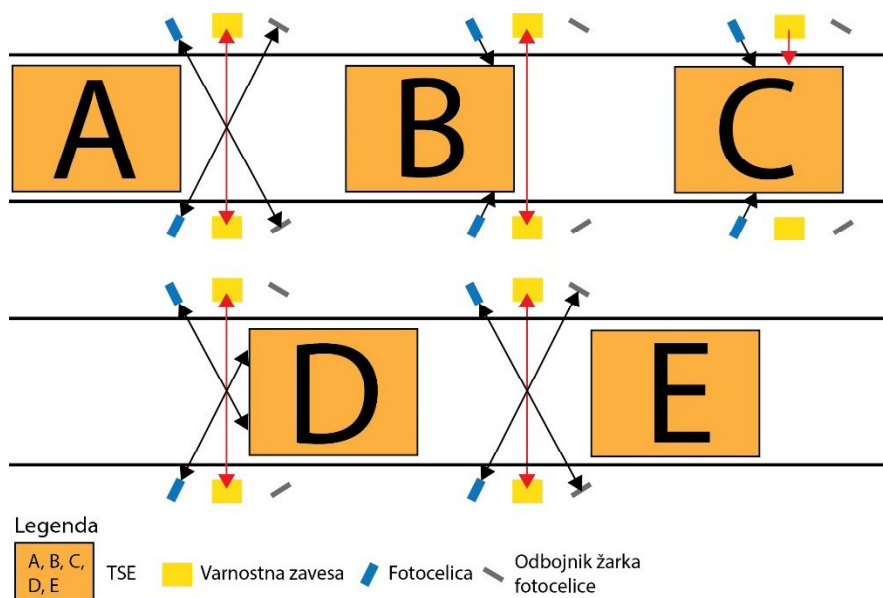
3.2.1 Varnostna zavesa in kamera

Varnostna zavesa in kamera opravljata enako funkcijo. V primeru aktivacije morata ustaviti napravo, ki jo varujeta. Normalno obratovanje občasno zahteva izklop varnostne funkcije za prehod palete skozi sistem (angl. muting). Začasen izklop varnostne funkcije je varnostno kritična operacija, zato jo izvedemo le, če sta najmanj dva senzorja istočasno prekinjena (dovolimo nekaj sto milisekund razlike), v nasprotnem primeru to interpretiramo enako kot prekinitev zaves/aktivacija kamere. Enako velja v primeru, da je aktiven le en senzor za izklop varnostne funkcije ali predolgo aktiven izklop varnostne funkcije.

3.2.1.1 Varnostna zavesa

Izbrana varnostna zavesa ima le en žarek, ki se odbije od dveh ogledal in vrne nazaj v zaveso. V primeru, da se žarek ne vrne, zavesa to interpretira kot prekinitev.

Začasen izklop varnostne funkcije izvajamo z dvema fotocelicama z ogledali. Zavesa se uporablja na transportni liniji pred vstopom v človeku nevarno območje (okoli avtomatskega ovijalca, pred progo vozička ...) [6].



Slika 3.2: Delovanje varnostne zavesa

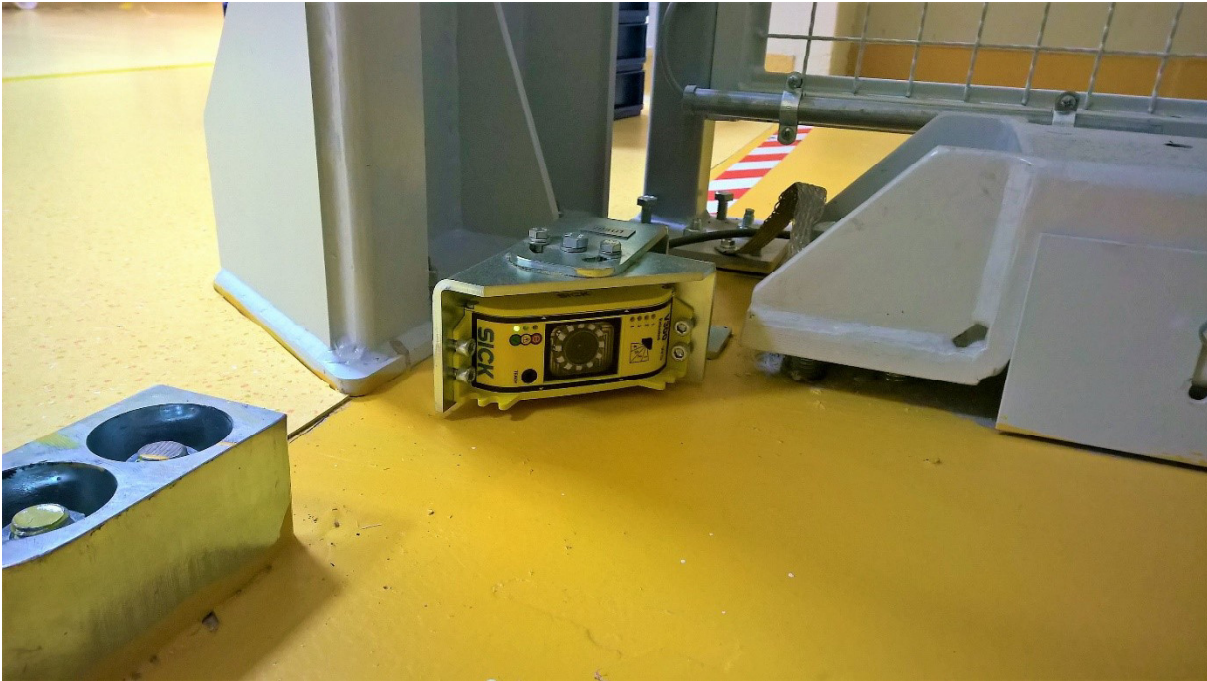
Postopek začasnega izklopa varnostne funkcije:

- Paleta prispe po transporterjih. Zavesa in fotocelice za izklop varnostne funkcije so neprekinjene.
- Paleta prekinde fotocelici za izklop varnostne funkcije zavesa.
- Paleta prekinde fotocelici za izklop varnostne funkcije zavesa in zaveso.
- Paleta preide skozi varnostno zaveso. Še vedno sta prekinjeni fotocelici in izklopljena varnostna funkcija zavesa.
- Paleta zapusti območje varnostne zavesa in ta je ponovno aktivna.

3.2.1.2 Varnostna kamera

Varnostna kamera, prikazana na sliki 3.3, preverja odboj od odsevnega traku. V primeru, da ga ne zazna, to interpretira kot prekinitev.

Začasen izklop varnostne funkcije tu izvajamo z uporabo dveh induktivnih senzorjev.



Slika 3.3: Varnostna kamera

3.3 Senzorji

Uporabili smo več tipov osnovnih in naprednejših senzorjev. Razlikujejo se v tipu signalizacije, kjer osnovni sporočajo le prekinitev/detekcijo, napredni pa sporočajo še podatke o dogodku, kot so teža, oddaljenost, pretvorba črtne kode v besedilo in števila.

3.3.1 Osnovni senzorji

Osnovni senzorji sporočajo svojo aktivacijo v obliki digitalnega signala. Delimo jih lahko po načinu zaznavanja:

- Fotocelica zazna objekt z odbojem svetlobe. Uporabili smo tri tipe fotocelic:
 - z dušenim ozadjem, ta zazna odboj od objekta,
 - z odbojnikom, kjer fotocelica odbija svetlobo od odbojnika. V primeru, da ne prejme odboja, to interpretira kot zaznavo objekta,
 - fotocelica, ki ima ločen sprejemnik in oddajnik (v svetlobni zavesi); ta je najbolj zanesljiva in javi zaznavo objekta, ko sprejemnik ne prejme svetlobnega signala od oddajnika.
- Induktivni senzor zaznava kovinske objekte. V primeru, da senzorju približamo kovinski objekt, se spremeni magnetno polje, kar senzor zazna in sporoči v obliki digitalnega signala.

- Končno stikalo zazna objekt z mehanskim tipalom. Kljub visoki zanesljivosti je zaradi mehanske obrabe večinoma uporabljen za končna stikala in druga manj stresna opravila.
- Bajonet v vratih je posebna izvedba mehanskega stikala, ki se sproži, ko je bajonet izvlečen iz stikala. Ta tip stikala se uporablja za varovanje vrat in zabojnikov.
- Ultrazvočni senzor zaznava predmete z odbojem ultrazvočnega signala. Signal oddaja v stožčasti obliki in zaznava vse v snopu. Zaradi potrebe po odboju ima ultrazvočni senzor nekaj mrtvega območja takoj pred sabo, v katerem ne zazna ničesar.

3.3.2 Napredni senzorji

Naprednejši senzorji so senzorji z naprednejšimi povratnimi informacijami, logiko ali nastavitvami:

- čitalec črtne kode je laserski čitalnik, ki s pomočjo motorsko gnanega odklona ogledala bere črtne kode. V našem primeru smo uporabili samostojno izvedbo čitalnika, ki je zmožen branja večine črtnih kod. Na čitalniku je treba nastaviti zelene brane kode, frekvenco branja (katero diktira širina in dolžina črtne kode), tip komunikacije in način proženja branja črtne kode;
- industrijska vaga je sestavljena iz tehtalnega modula in tehtalnih celic, ki jih priklopimo nanj. Tehtalne celice merijo upornost in to sporočajo tehtalnemu modulu, ki te informacije pretvori v težo in to sporoča programirljivemu logičnemu krmilniku.

3.4 Uporabniški vmesnik

Uporabniški vmesniki so kakršnikoli vmesniki, ki uporabniku sporočajo stanje. Uporabniški vmesniki lahko omogočajo tudi upravljanje naprave. V našem primeru govorimo o prenosnih panelih, prikazanih na sliki 3.4, prek katerih spremljamo stanje in upravljamo transport ter premične naprave (voz2vrt, voz2vill in 2 ter PVP). Za povezavo s programirljivim logičnim krmilnikom mobilni paneli uporabljajo vmesnike (angl. connection box) [7].

Mobilni paneli so sestavljeni iz:

- zaslona, na katerem vizualiziramo stanje naprave in omogočamo urejanje njenih parametrov,
- dveh fizičnih tipk za preverjanje prisebnosti operaterja (angl. dead man's switches), ki ju mora operater aktivirati za upravljanje naprave.
- fizičnih tipk, prek katerih upravljamo naprave, in
- tipke stop, ki varno zaustavi upravljanje napravo.



Slika 3.4: Mobilni panel in vmesnik [10]

3.5 Frekvenčni pretvornik

Frekvenčni pretvornik uporabljamo, kjer želimo regulirati hitrost vrtenja motorja. Ta pretvarja omrežno izmenično napetost v enosmerno, ki jo nato kasneje spremeni v izmenično napetost poljubne frekvence. Z nastavitvijo izhodne frekvence vplivamo na hitrost vrtenja motorja [8].

Na transportu smo uporabili naprednejše izvedbe frekvenčnih pretvornikov, ki poleg zgoraj opisane funkcije lahko tudi:

- upravljajo z vgrajenimi digitalnimi in analognimi vhodi ter izhodi,
- komunicirajo s programirljivim logičnim krmilnikom,
- izvajajo regulacijo gibanja,
- izvajajo osnovne varnostne funkcije, kot so varnostna zaustavitev in preprečitev zagona.

Za transport smo uporabili dve različni izvedbi frekvenčnih pretvornikov:

- Frekvenčni pretvornik na motorju, prikazan na sliki 3.5, je kompaktna enota, ki združuje motor ter frekvenčni pretvornik in je nameščena zunaj elektro omare. Taka naprava zadostuje višjim standardom zaščite (IP), kot je odpornost proti vodi in prahu. Temu primerno je tudi v višjem cenovnem razredu kot frekvenčni pretvornik istih specifikacij v elektro omari. Svojo ceno upraviči, ker ne zavzema prostora v elektro omari in omogoča vezavo raznih senzorjev, tipk in ostale periferije na svoje vhode, kar zmanjša število vhodno-izhodnih kartic na programirljivem logičnem krmilniku in omogoči nakup manjše elektro omare.



Slika 3.5: Frekvenčni pretvornik na motorju

- Frekvenčni pretvornik za v elektro omaro, prikazan na sliki 3.6, je lahko v kompaktni izvedbi, kjer sta sestavljena močnostni in krmilni del, ali pa v modularni izvedbi, kjer sta ločena. Taka izvedba omogoča večjo izbiro glede močnostnih in krmilnih modulov z dodatnimi opcijami in lažje kasnejše razširitve.



Slika 3.6: Modularni frekvenčni pretvornik za elektro omaro [11]

4 Strukture in koncepti

V tem poglavju bomo predstavili strukture in koncepte, ki smo jih uporabili pri pisanju programske logike za naprave transportnega sistema predstavljene v poglavju 5. Predstavili bomo tudi, kako in zakaj smo združevali transporterje v segmente. V poglavju 4.2 bomo predstavili, kako na ravni programirljivega logičnega krmilnika spremljamo posamezne palete. Kako v avtomatskem načinu vodimo palete, bomo predstavili v poglavju 4.3, komunikacijo med programirljivem logičnem krmilnikom in sistemom za pretok palet pa bomo predstavili v poglavju 4.4.

4.1 Segment

Zaradi velikosti skladišča, števila transporterjev in boljšega odziva v primeru napak, smo transporterje združili v smiselne zaključene enote, imenovane segmenti. Na ravni segmenta se določi režim obratovanja in signalizacijo ter odziv na alarm.

Oba transportna programirljiva logična krmilnika imata poleg segmentov, ki so sestavljeni iz več transporterjev, tudi en sistemski segment, ki skrbi za signalizacijo ter odziv na alarme, ki vplivajo na vse segmente.

4.1.1 Režim obratovanja

Režim obratovanja predstavlja način izvajanja in tip ukazov, kjer lahko ti prihajajo lokalno prek uporabniškega vmesnika, kar predstavlja tako imenovani ročni režim, ali daljinsko prek sistema za pretok palet, kar predstavlja tako imenovani avtomatski režim.

4.1.1.1 Ročni režim

Pri ročnem režimu izvajamo ukaze, vnesene prek uporabniškega vmesnika, v našem primeru operatorskega panela. Ročni način se uporablja izključno za reševanje nastalih težav in temu primerno so ukazi za naprave transportnega sistema zelo enostavni, na primer: transporter naprej/nazaj, gor/dol.

4.1.1.2 Avtomatski režim

Pri avtomatskem režimu izvajamo ukaze sistema za pretok palet, ki programirljivemu logičnemu krmilniku sporoči, katero paleto želi premakniti in na katero mesto.

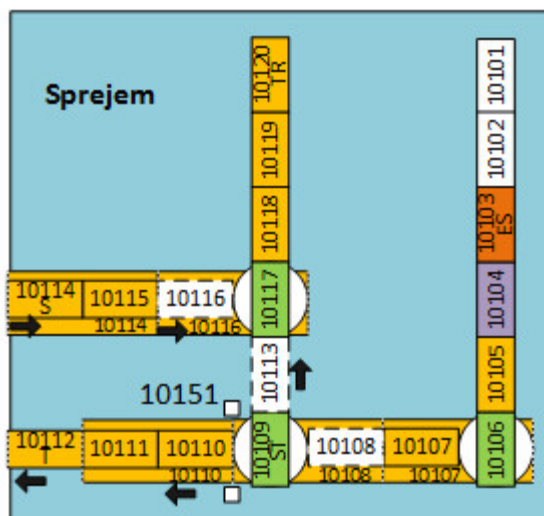
4.1.2 Alarm

Alarm predstavlja zaznano napako ali odstopanje od predvidene vrednosti. Alarmer smo delili na višje nivojske in nižje nivojske. Višje nivojske smo združili v sistemskem segmentu, ki vpliva na vse ostale segmente transportnega sistema, nižje nivojski pa vplivajo le na transporterje znotraj segmenta, kjer alarm naprave transportnega sistema zahteva zaustavitev vseh naprav znotraj segmenta.

4.2 Logična slika in paletna mesta

Logična slika je sestavljena iz vseh možnih logičnih lokacij v sistemu. Vsak transporter ima vsaj eno logično lokacijo, ki je lahko zasedena ali prosta glede na fizično prisotnost palete. Vsaka paleta v sistemu je v logični sliki predstavljena z logičnim elementom in se po logični sliki premika tako kot fizična paleta po realnem sistemu.

Logična slika je potrebna za sledenje posameznim paletam ter s tem za preprečevanje trkov med paletami in večji izkoristek sistema.



Slika 4.1: Logična slika sprejema v pritličju

4.2.1 Logični element palete

Vsaka paleta v sistemu je predstavljena s svojim logičnim elementom na logični sliki. Logični element poleg prisotnosti palete hrani tudi podatke o paleti, ukaz sistema za pretok palet (MFC), ki ga trenutno izvaja, in podatke o logičnih lokacijah.

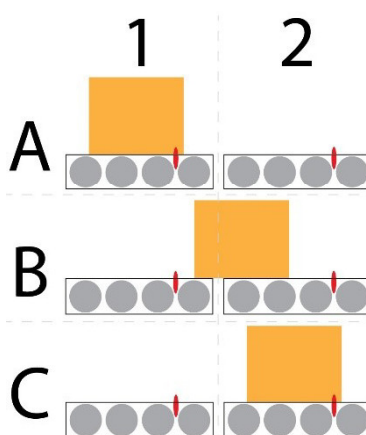
4.2.2 Premik logičnega elementa palete

Premik logičnega elementa palete je premik palete z ene logične lokacije na drugo. To se zgodi, ko se paleta fizično premakne z enega senzorja za prisotnost na naslednjega, kar programirljivi logični krmilnik interpretira in prepíše logični element palete s predhodne logične lokacije na trenutno.

4.2.2.1 Premik palete med transporterjema z eno logično lokacijo

Premik palete med transporterjema z eno logično lokacijo se izvede v treh korakih, prikazanih na sliki 4.2.

- A. V začetnem stanju je paleta logično in fizično na mestu 1 ter senzor za prisotnost palete aktiven, mesto 2 je logično nezasedeno, senzor za prisotnost palete je neaktiven. Pogon obeh transporterjev lahko aktiviramo,
- B. V vmesnem stanju je paleta med obema senzorjema za prisotnost palete in fizično na obeh transporterjih, logično pa še na mestu 1, saj se prepis še ni zgodil. Pogon obeh transporterjev je aktiven,
- C. Na koncu je paleta fizično na mestu 2 in senzor za prisotnost palete aktiven. Takoj ob aktivaciji senzorja za prisotnost palete se izvede premik logičnega elementa palete na mesto 2. Pogona obeh transporterjev lahko ustavimo.



Slika 4.2: Premik logičnega elementa palete med transporterjema z eno logično lokacijo

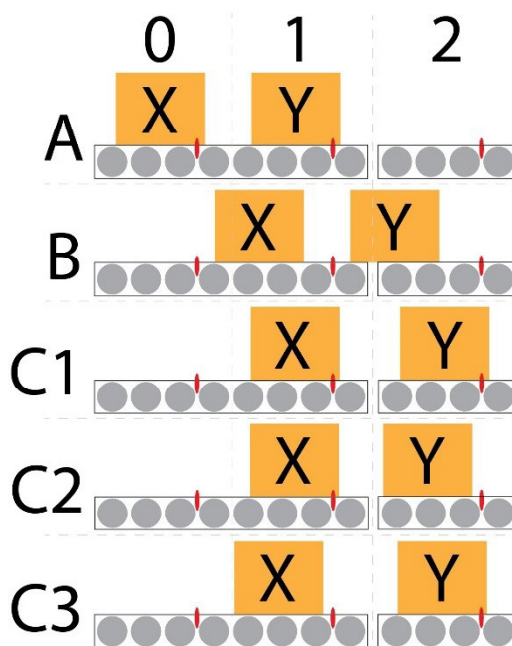
V primeru, da bi bili obe fotocelici aktivni, bi javili neuspešen premik palete; do takih situacij ne pride v normalnem obratovanju.

4.2.2.2 Premik palete iz transporterja z dvema logičnima lokacijama

Premik palete iz transporterja z dvema logičnima lokacijama, ki je zaseden samo na enem mestu, se izvede enako, kot je že bilo opisano.

V primeru zasedenosti obeh logičnih lokacij se premik izvede v treh korakih, prikazanih na sliki 4.3.

- A. V začetnem stanju sta paleti logično in fizično na naslednjih mestih: paleta X na mestu 0, paleta Y na mestu 1. Senzorja za prisotnost sta aktivna. Pogon obeh transporterjev lahko aktiviramo.
- B. V vmesnem stanju sta paleti med senzorji za prisotnost palete in sta fizično med transporterjema. Logično sta paleti še vedno na mestih: paleta X na mestu 0, paleta Y na mestu 1. Prepis se še ni zgodil, pogon obeh transporterjev je aktiven.
- C. Končno stanje je odvisno od fizičnih razmakov med senzorji in paletami. Da se izognemo prepisu logične slike palete ob premiku, pogon transporterja ustavimo, ko paleta doseže senzor za prisotnost, in izvedemo logični premik s predhodnega na trenutno mesto, ko je to logično nezasedeno. Obstajajo trije možni scenariji.
 - i. Paleti X in Y istočasno dosežeta senzorje za prisotnost, kar pomeni, da je paleta X na mestu 1 in paleta Y na mestu 2. Ob aktivaciji senzorja za prisotnost palete in logični nezasedenosti mesta se izvede premik logične slike palete. Logični premik palete zahteva logično nezasedeno ciljno mesto, zato se najprej izvede logični premik palete Y z mesta 1 na mesto 2 in nato je mesto 1 prosto ter se lahko izvede še logični premik palete X z mesta 0 na mesto 1.
 - ii. Paleta X doseže senzor za prisotnost, kar pomeni, da je paleta X fizično na mestu 1, paleta Y je še med senzorji. Premik ni mogoč in pogon prvega transporterja se ustavi. Paleta Y nadaljuje pot in ob dosegu senzorja za prisotnost se izvede enak premik palete kot v točki 1. Ustavi se pogon drugega transporterja.
 - iii. Paleta Y doseže senzor za prisotnost, kar pomeni, da paleta Y doseže mesto 2, paleta X pa je še med senzorji. Logični premik palete Y z mesta 1 na mesto 2 se izvede takoj in pogon drugega transporterja se ustavi. Paleta X nadaljuje pot in ob aktivaciji senzorja za prisotnost se izvede logični premik palete X z mesta 0 na mesto 1. Ustavi se pogon prvega transporterja.



Slika 4.3: Premik palete iz polno zasedenega transporterja z dvema logičnima lokacijama

4.2.2.3 Premik palete na transporter z dvema logičnima lokacijama

Premik palete na transporter z dvema logičnima lokacijama, nezasedenima na obeh lokacijah, se izvede enako kot med transporterjema z eno logično lokacijo.

V primeru zasedenosti na drugi lokaciji je premik nemogoč, saj je pogon en sam za celoten transporter in bi ob sprejemu nove palete potisnil paletu z druge lokacije na tla ali na naslednji transporter, ki ni bil pripravljen za ta premik.

V primeru zasedenosti prve lokacije se premik izvede enako kot premik palete iz transporterja z dvema logičnima lokacijama v primeru, da sta obe paletni mesti zasedeni. Razlika je edino ta, da moramo poskrbeti za pravilen razmak med paletami in razmak med senzorjema za prisotnost palete pred sprejemom druge palete. V primeru, da pravilna postavitev senzorjev za prisotnost ni mogoča, to kompenziramo s časovnim zamikom zagona sprejemnega transporterja.

4.2.2.4 Premik palete med napravami z različnimi programirljivimi logičnimi krmilniki

Premik palete med napravami z različnimi programirljivimi logičnimi krmilniki se izvaja ob predaji/sprejemu palete z vozičkom ali napravo PVP. S tem zagotovimo sledljivost in uspešno predajo palete ter pravilno obratovanje naprav v času izmenjave palete.

Premik palete med napravami z različnimi krmilniki je zahtevnejša operacija, ki lahko povzroči poškodbo naprav, palet ali tovara. Zato se premik palete izvaja s pomočjo izmenjave signalov

med krmilniki. Pred začetkom izmenjave signalov mora premična naprava sporočiti transportu, s katerim transporterjem bo izvajala izmenjavo signalov, kar zagotovi premik le zelenih palet. Signali, ki si jih dva krmilnika izmenjata, so:

- zahteva za začetek izmenjave: sproži jo premična naprava (voziček ali naprava PVP), ki s tem signalizira, da je pripravljena za sprejemanje/oddajanje palete,
- dovoljenje za izvajanje: z njim transport signalizira, da je pripravljen za sprejemanje/oddajanje palete glede na zahtevo premične naprave,
- izvajanje aktivno: nastavi ga premična naprava takrat, ko poteka izmenjava palete med transportnim sistemom in premično napravo,
- izvajanje zaključeno: nastavi ga premična naprava, ki signalizira, da je bila paleta izmenjana med transportnim sistemom in premično napravo.

4.3 Avtomatsko vodenje palete

V avtomatskem načinu se paleta premika od izvirne logične lokacije do končne logične lokacije. Za uspešno izvajanje premikov vsak logični element palete hrani podatke o trenutni lokaciji, ki predstavlja trenutno logično lokacijo palete ter izvirno in končno logično lokacijo. Izvirno in končno lokacijo določa sistem za pretok palet in jih z ukazi sporoča programirljivemu logičnemu krmilniku.

4.4 Komunikacija med programirljivim logičnim krmilnikom in sistemom za pretok palet

Programirljivi logični krmilnik, na katerem se izvaja naša koda, sodeluje s sistemom za pretok palet. Komunikacija med njima poteka prek omrežja Ethernet, izmenjava telegramov se izvaja prek protokola TCP/IP. Programirljivi logični krmilnik ne glede na obratovalni režim sporoča stanje naprav transportnega sistema in logične slike sistemu za pretok palet. V primeru, da je določen segment transportnega sistema v avtomatskem režimu, ta izvaja prejete ukaze iz sistema za pretok palet, kot sta a vodenje palete in potrditev aov.

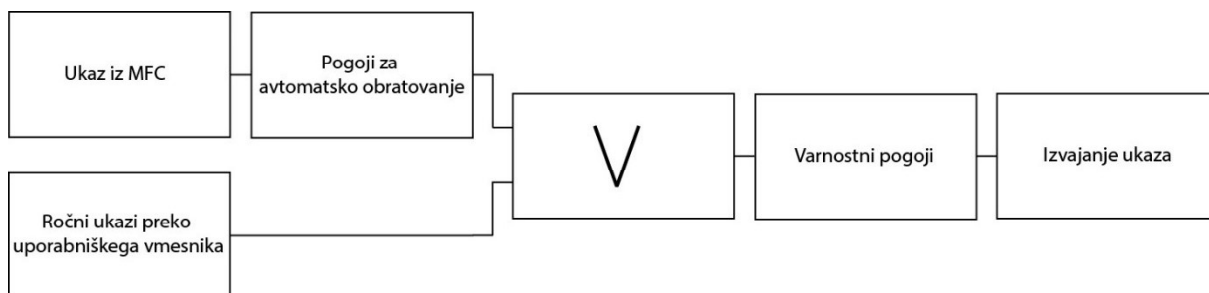
5 Programska logika naprav transportnega sistema

Pisanje programske logike naprav transportnega sistema zahteva razumevanje mehanskih zmožnosti naprave, želenih funkcij naprave in točke uporabe v sistemu.

Vsaka naprava je glede na režim obratovanja varovana z logičnimi pogoji, ki so predstavljeni v nadaljevanju.

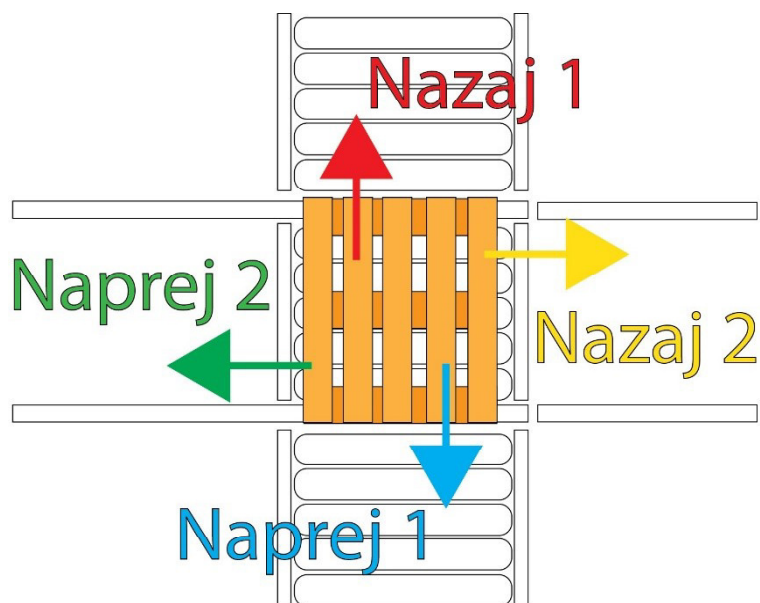
5.1 Logični pogoji za izvajanje ukaza

Logični pogoji za izvajanje ukaza so programski pogoji, ki odločajo, ali se ukaz izvaja ali ne. Glavna pogoja sta sestavljena pogoja za avtomatsko obratovanje in varnost. Pogoji za avtomatsko obratovanje vpliva le na ukaze sistema za pretok palet (MFC), varnostni pogoj pa vpliva na vsak ukaz.



Slika 5.1: Pogoji za izvajanje ukaza

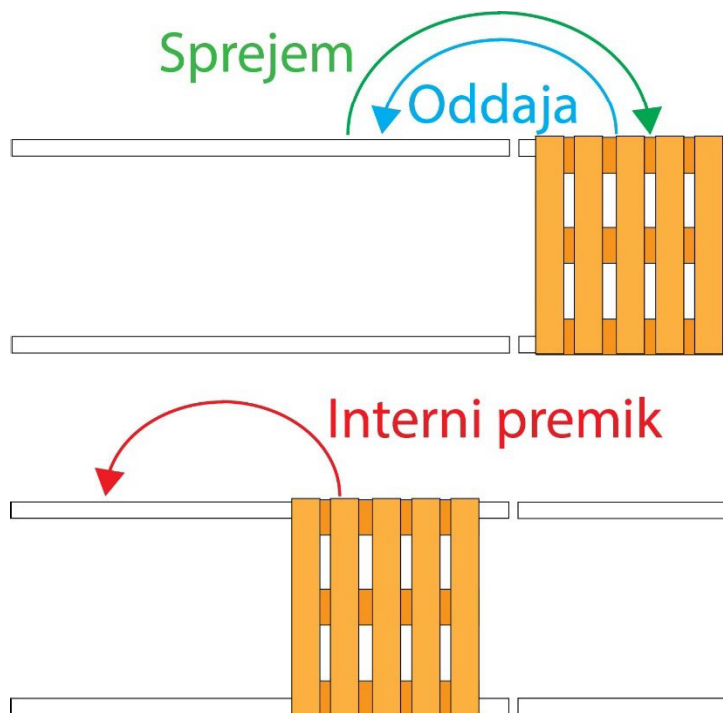
Pogoj za avtomatsko vodenje in varnostni pogoj imata poleg privzetih pogojev še deljene pogoje glede na smer potovanja palete, prikazano na sliki 5.2, kjer smeri naprej 1 in naprej 2 predstavljata predvidene možne poti ob normalnem obratovanju.



Slika 5.2: Primer smeri potovanja palete

5.1.1 Pogoji za avtomatsko obratovanje

Pogoji za avtomatsko obratovanje vplivajo na ukaze, sprejete v avtomatskem režimu, ki jih pošilja sistem za pretok palet. Pogoji za avtomatsko obratovanje skrbijo za pravilno obratovanje naprave in premike ter preprečevanje trkov palet. Pogoji za avtomatsko obratovanje se delijo glede na smer potovanja palete, kot je predstavljeno na sliki 5.2. Poleg smeri se upoštevajo tudi pogoji sprejem, oddaja in interni premik, kjer sprejem predstavlja pogoje za sprejem palete iz drugega transporterja, oddaja pogoje za oddajo palete na drugi transporter in interni premik pogoje za premik palete znotraj transporterja, prikazano na sliki 5.3. Pogoji za smer potovanja ter sprejem, oddajo ali interni premik palete se razlikujejo glede na napravo, kjer bodo tudi podrobneje predstavljeni.



Slika 5.3: Primer pogojev sprejem, oddaja in internega premika

Ne glede na smer in izvajano akcijo so pogoji za avtomatsko obratovanje vedno:

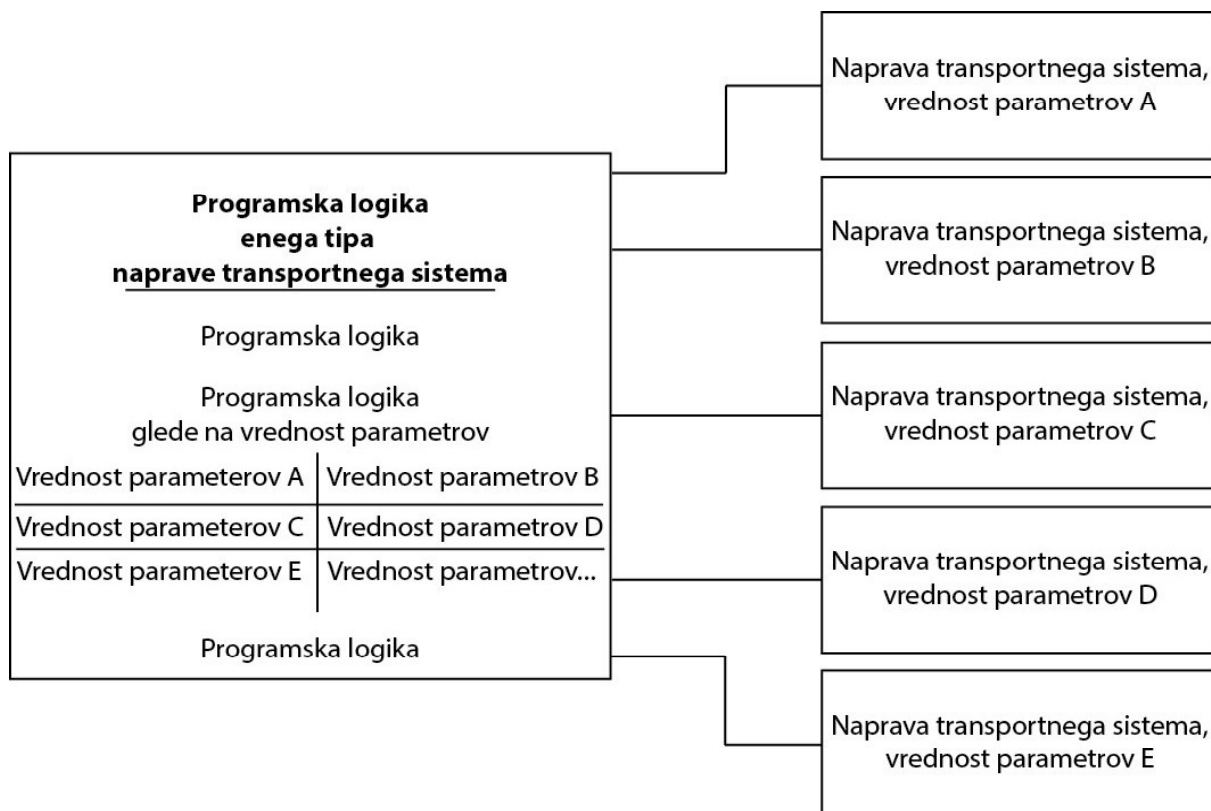
- avtomatski režim obratovanja,
- paleta ima smiselno nastavljeno ciljno lokacijo in trenutno ni na njej,
- premična naprava ne zahteva, da trenutna naprava transportnega sistema ne izvaja premikov, kar zahteva ob izmenjavi palete,
- odsotnost alarmov.

5.1.2 Varnostni pogoji

Varnostne pogoje upošteva vsak ukaz ne glede na režim obratovanja, ti varujejo napravo, paleta, tovor in človeka pred poškodbo. Pogoji se delijo na smer potovanja palete, kot je predstavljeno na sliki 5.2, in se razlikujejo glede na napravo, kjer bodo tudi predstavljeni.

5.2 Naprave transportnega sistema

Programska logika za naprave transportnega sistema je napisana glede na tip naprave, kjer vse naprave transportnega sistema enega tipa kličejo isto programsko logiko, vsaka s svojimi parametri, ilustrirano na sliki 5.4. Vse naprave transportnega sistema upoštevajo strukture in koncepte, predstavljene v poglavju 4, ter izpolnjujejo pogoje, predstavljene v poglavju 5.1.



Slika 5.4: Shema izvajanja programske logike za en tip transporterja

Prednosti in slabosti izvajanja programske logike glede na tip naprave transportnega sistema so:

- + hitra implementacija popravkov,
- + enostavne razširitve sistema,
- + enostavno odkrivanje napak,
- + manj kode,
- zahtevnejše pisanje in popravljanje programske kode, ker je treba predvideti težave za vsak transporter tega tipa,
- redundantnost podatkov, saj določene naprave istega tipa ne izkoriščajo vseh elementov kode.

5.2.1 Transporter z enim logičnim mestom

Transporter z enim logičnim mestom sprejema in oddaja palete v smeri naprej 1 in nazaj 1, prikazano na sliki 5.2. V programski logiki upošteva logične pogoje za izvajanje ukaza, predstavljene v poglavju 5.1. V našem primeru je transporter z enim logičnim mestom valjčni ali verižni transporter.

Varnostna pogoja naprej 1 in nazaj 1 sta identična in se razlikujeta glede na točko uporabe v sistemu:

- vhodni transporter zahteva, da se viličar umakne,
- transporterji v vzorčevalnici zahtevajo, da so tehnološka vrata odprta in pot prosta.

Od pogojev za avtomatsko obratovanje se upoštevajo privzeti pogoji ter pogoji za sprejem ali oddajo palete:

- sprejem:
 - trenutni transporter je logično in fizično nezaseden,
 - oddajni transporter je logično in fizično zaseden,
 - oddajni transporter ima izpolnjene vse logične pogoje za izvajanje ukaza,
- oddaja:
 - trenutni transporter je logično in fizično zaseden,
 - sprejemni transporter je logično in fizično nezaseden,
 - sprejemni transporter ima izpolnjene vse logične pogoje za izvajanje ukaza.

5.2.2 Transporter z dvema logičnima mestoma

Transporter z dvema logičnima mestoma palete sprejema in oddaja v smeri naprej 1, prikazano na sliki 5.2. V programski logiki upošteva logične pogoje za izvajanje ukaza, predstavljene v poglavju 5.1. V našem primeru je transporter z dvema logičnima mestoma vedno verižni transporter.

Varnostni pogoj naprej 1 se upošteva le pri predajnem mestu iz avtomatskega regalnega dvigala na transport:

- avtomatsko regalno dvigalo mora uspešno predati paleto transporterju in pospraviti vilice nazaj nase.

Od pogojev za avtomatsko obratovanje se upoštevajo privzeti pogoji ter pogoji za sprejem, oddajo in interni premik palete:

- sprejem:
 - trenutni transporter je logično in fizično nezaseden na drugem mestu,
 - oddajni transporter je logično in fizično zaseden,
 - oddajni transporter ima izpolnjene vse logične pogoje za izvajanje ukaza,
- oddaja:
 - trenutni transporter je logično in fizično zaseden na drugem mestu,

- sprejemni transporter je logično in fizično nezaseden,
 - sprejemni transporter ima izpolnjene vse logične pogoje za izvajanje ukaza,
- interni premik:
 - trenutni transporter je logično in fizično zaseden na prvem mestu,
 - trenutni transporter je logično in fizično nezaseden na drugem mestu,
 - sprejemni transporter je logično in fizično nezaseden,
 - sprejemni transporter ima izpolnjene vse logične pogoje za izvajanje ukaza.

5.2.3 Križišče

Križišče je naprava transportnega sistema, ki je sestavljena iz verižnega transporterja z enim ali dvema logičnima mestoma in se obnaša, kot opisano v poglavju 5.2.1 ali 5.2.2, ter gnanega prekladalnika palet z enim logičnim mestom, opisanim v poglavju 5.2.7.

Uporabljena so dvosmerna križišča, kjer gre lahko paleta v smeri naprej 1 ali naprej 2, prikazano na sliki 5.2. Na logiko obratovanja vpliva položaj prekladalnika, ki v spodnjem položaju omogoča obratovanje verižnega transporterja, v zgornjem pa valjčnega transporterja na prekladalniku.

Uporabljena sta varnostna pogoja naprej 1, ki skrbi za sprejem ter oddajo palete na prekladalnik, in naprej 2, ki skrbi za sprejem, oddajo in interni premik palete na verižnemu transporterju:

- naprej 1 zahteva, da je prekladalnik v zgornjem položaju,
- naprej 2 zahteva, da je prekladalnik v spodnjem položaju.

Od pogojev za avtomatsko obratovanje se upoštevajo privzeti pogoji ter pogoja za sprejem in oddajo ter v primeru, da ima transporter dve logični mesti, tudi interni premik palete. Prekladalnik pa je krmiljen s pomočjo pogojev za dvig in spust:

- sprejem:
 - trenutni transporter je logično in fizično nezaseden na prvem mestu,
 - oddajni transporter je logično in fizično zaseden,
 - oddajni transporter ima izpolnjene vse logične pogoje za izvajanje ukaza,
- oddaja:
 - trenutni transporter je logično in fizično zaseden,
 - sprejemni transporter je logično in fizično nezaseden,
 - sprejemni transporter ima izpolnjene vse logične pogoje za izvajanje ukaza,
- interni premik:

- trenutni transporter je logično in fizično zaseden na prvem mestu,
- trenutni transporter je logično in fizično nezaseden na drugem mestu,
- sprejemni transporter je logično in fizično nezaseden,
- sprejemni transporter ima izpolnjena vsa logične pogoje za izvajanje ukaza,
- dvig:
 - trenutni transporter je logično in fizično zaseden in ima tarčo v smeri naprej 2,
 - trenutni transporter je logično in fizično nezaseden, oddajni transporter je logično in fizično zaseden in oddaja na trenutni transporter v smeri naprej 1,
- spust je aktiven takoj, ko pogoj za dvig ni več aktiven.

5.2.4 Poravnalnik palete za avtomatsko regalno dvigalo POR-ARD

Paleta sprejema v smeri naprej 1, prikazano na sliki 5.2, za doseg tega v programski logiki upošteva logične pogoje za izvajanje ukaza, predstavljene v poglavju 5.1.

Varnostni pogoj naprej 1 skrbi za sprejem in interni premik palet:

- v primeru, da ima paleta končno lokacijo na prvi logični lokaciji in te še ni dosegla, mora biti prvi prekladalnik v spodnjem položaju, drugi pa v zgornjem,
- v primeru, da ima paleta končno lokacijo na drugi logični lokaciji in te še ni dosegla, morata biti oba prekladalnika v spodnjem položaju.

Od pogojev za avtomatsko obratovanje se upoštevajo privzeti pogoji ter pogoji za sprejem in interni premik palete, posamezen poravnalnik pa je krmiljen s pomočjo pogojev za dvig in spust:

- sprejem:
 - trenutni transporter je logično in fizično nezaseden,
 - oddajni transporter je logično in fizično zaseden,
 - oddajni transporter ima izpolnjene vse logične pogoje za izvajanje ukaza,
- interni premik:
 - trenutni transporter je logično in fizično zaseden na prvem mestu,
 - trenutni transporter je logično in fizično nezaseden na drugem mestu,
 - sprejemni transporter je logično in fizično nezaseden,
 - sprejemni transporter ima izpolnjena vsa logične pogoje za izvajanje ukaza,
- dvig:
 - trenutno mesto transporterja je logično in fizično zasedeno in paleta ima cilj na to mesto,
- spust je aktiven takoj, ko pogoj za dvig ni več aktiven.

5.2.5 Vrtljiva miza z verižnim transporterjem in valjčnim prekladalnikom VRT-VM-GVT-P

Paleta sprejema in oddaja v smeri naprej 1, prikazano na sliki 5.2, za doseg tega v programski logiki upošteva logične pogoje za izvajanje ukaza, predstavljene v poglavju 5.1.

Varnostni pogoj naprej 1 sestavljata pogoja:

- sprejem:
 - verižni transporter je poravnan s predhodnim transporterjem,
 - prekladalnik je v spodnjem položaju in
- oddaja:
 - valjčni transporter prekladalnika je poravnan z izhodnim transporterjem,
 - prekladalnik je v zgornjem položaju.

Od pogojev za avtomatsko obratovanje se upoštevajo privzeti pogoji ter pogoji za sprejem in oddajo palete, prekladalnik je krmiljen s pomočjo pogojev za dvig in spust, vrtenje je krmiljeno s pogoji za sprejem in oddajo palete:

- sprejem:
 - trenutni transporter je logično in fizično nezaseden,
 - oddajni transporter je logično in fizično zaseden,
 - oddajni transporter ima izpolnjene vse logične pogoje za izvajanje ukaza,
- oddaja:
 - trenutni transporter je logično in fizično zaseden,
 - sprejemni transporter je logično in fizično nezaseden,
 - sprejemni transporter ima izpolnjene vse logične pogoje za izvajanje ukaza.
- dvig:
 - trenutno mesto transporterja je logično zasedeno,
- spust je aktiven takoj, ko pogoj za dvig ni več aktiven.

5.2.6 Vrtljiva miza z gnanim valjčnim transporterjem VM-GVT

Paleta sprejema in oddaja v smeri naprej 1, prikazano na sliki 5.2, za doseg tega v programski logiki upošteva logične pogoje za izvajanje ukaza, predstavljene v poglavju 5.1.

V programski logiki smo delili vrtljivo mizo z gnanim valjčnim transporterjem glede na opravljano nalogo, kjer en tip sprejema palete z vozička in oddaja na transport, drugi pa sprejema palete s transporta in oddaja na voziček.

Varnostni pogoj naprej 1 sestavljata pogoja sprejem in oddaja:

- sprejem:
 - z vozička:
 - vrtljiva miza je poravnana vzporedno z vozičkom in pripravljena za sprejem palete,
 - s transporta:
 - vrtljiva miza je poravnana s predhodnim valjčnim transporterjem,
- oddaja:
 - na voziček:
 - vrtljiva miza je poravnana vzporedno z vozičkom in pripravljena za oddajo palete,
 - na transport:
 - vrtljiva miza je poravnana z izhodnim valjčnim transporterjem.

Od pogojev za avtomatsko obratovanje se upoštevajo privzeti pogoji ter pogoji za sprejem in oddajo palete, vrtenje je krmiljeno s pogoji za sprejem in oddajo palete:

- sprejem:
 - trenutni transporter je logično in fizično nezaseden,
 - oddajni transporter je logično in fizično zaseden,
 - oddajni transporter ima izpolnjene vse logične pogoje za izvajanje ukaza,
- oddaja:
 - trenutni transporter je logično in fizično zaseden,
 - sprejemni transporter je logično in fizično nezaseden,
 - sprejemni transporter ima izpolnjene vse logične pogoje za izvajanje ukaza.

5.2.7 Gnani poravnalnik palete

Poravnavo palete izvaja v smeri naprej 1, prikazano na sliki 5.2, kjer zaustavi paletu na točno določenem položaju, za doseg tega v programski logiki upošteva logične pogoje za izvajanje ukaza, predstavljene v poglavju 5.1.

Varnostni pogoj naprej 1 sestavljata pogoja za sprejem in oddajo:

- trenutni transporter je logično in fizično nezaseden.

Od pogojev za avtomatsko obratovanje se upoštevajo privzeti pogoji ter pogoji za dvig in spust poravnalnika:

- dvig:
 - mesto, na katerem grani poravnalnik palete ustavlja paleto, je logično in fizično nezasedeno,
 - predhodni transporter je logično in fizično zaseden,
 - material na predhodnem transporterju ima cilj v smeri naprej 2,
- spust:
 - mesto, na katerem grani poravnalnik palete ustavlja paleto, je logično in fizično nezaseden,
 - predhodni transporter je logično in fizično nezaseden ali pa je logično in fizično zaseden in material na njem ima cilj v smeri naprej 1.

5.2.8 Vertikalni transporter z gnanim verižnim transporterjem DV-VRT

Paleta sprejema in oddaja v smeri naprej 1, prikazano na sliki 5.2, za doseg tega v programski logiki upošteva logične pogoje za izvajanje ukaza, predstavljene v poglavju 5.1.

V programski logiki smo vertikalni transporter z gnanim verižnim transporterjem delili glede na opravljeno nalogo, kjer en tip sprejema nove palete, ki jih vnesejo operaterji, ter jih oddaja na transport, drugi pa sprejema palete s transporta in jih pripravi za prevzem s strani operaterjev.

Varnostni pogoj naprej 1 sestavljata pogoja:

- sprejem:
 - s transporta:
 - miza je v zgornjem položaju,
 - vnos s strani operaterjev:
 - miza je v spodnjem položaju,
- oddaja:
 - na transport:
 - miza je v zgornjem položaju,
 - prevzem s strani operaterjev:
 - miza je v spodnjem položaju.

Od pogojev za avtomatsko obratovanje se upoštevajo privzeti pogoji ter za sprejem in oddajo palete ter isto imenovani pogoji za dvig in spust dvižne mize:

- sprejem:
 - trenutni transporter je logično in fizično nezaseden,

- oddajni transporter je logično in fizično zaseden,
 - oddajni transporter ima izpolnjene vse logične pogoje za izvajanje ukaza,
- oddaja:
 - trenutni transporter je logično in fizično zaseden,
 - sprejemni transporter je logično in fizično nezaseden,
 - sprejemni transporter ima izpolnjene vse logične pogoje za izvajanje ukaza,
- dvig:
 - sprejem iz transporta:
 - trenutni transporter je logično in fizično nezaseden,
 - oddaja na transport:
 - trenutni transporter je logično in fizično zaseden,
- spust je aktiven takoj, ko pogoj za dvig ni več aktiven.

5.3 Sestavljanje blokov v delujočo celoto

Vsaka naprava je predstavljena s svojim elementom programskega bloka, kjer se hranijo vse informacije o napravi, parametri naprave in stanje materiala. Programska koda vseh blokov je zasnovana na standardih predstavljenih 5 poglavju, kar zagotavlja, da je povezovanje blokov v delujočo celoto enostavno. Vsak element bloka potrebuje le poznati sosednje elemente blokov in lahko preverja stanje ter izmenjuje material z njimi. To je prikazano na sliki 5.5, kjer je razvidno sestavljanje elementov programskih blokov v delujočo celoto: transporter 10101 je prvi transporter v liniji in pozna le enega sosedo 10102 na katerega odda paleto. Transporter 10102 pozna dve enoti- transporter 10101, iz katerega palete sprejema, in transporter 10103, na katerega palete oddaja.

```

1 // Vhod
2
3 // prvi enojni transporter (nima predhodega partnerja)
4 □ "10101"(PrevTU:="DB_EmptyPlace".StartTU,
5   NextTU:="10102".TU);
6 // enojni transporter
7 □ "10102"(PrevTU := "10101".TU,
8   NextTU := "10103".TU);
9 // enojni transporter
10 □ "10103"(PrevTU := "10102".TU,
11   NextTU := "10104".TU);
12 // preverjanje dimenzij tovora
13 "DB_Gabarit_10103()";
14 // enojni transporter
15 □ "10105"(PrevTU := "10104".TU,
16   NextTU := "10106".TU);
17 // križišče
18 □ "10106"(PrevTU := "10105".TU,
19   NextTU := "DB_EmptyPlace".EndTU,
20   PrevTU2 := "DB_EmptyPlace".EndTU,
21   NextTU2 := "10109".TU,
22   Aligner := "DB_EmptyPlace".EndTU);
23 // križišče
24 □ "10109"(PrevTU := "DB_EmptyPlace".EndTU,
25   NextTU := "10117".TU,
26   PrevTU2 := "10106".TU,
27   NextTU2 := "10110".TU,
28   Aligner := "10151".TU);
29 // poravnalnik
30 □ "10151"(PrevTU := "10109".TU,
31   PrevTU2 := "DB_EmptyPlace".StartTU,
32   NextTU := "10110".TU);
33 // dvojni transporter
34 □ "10110"(PrevTU := "10109".TU,
35   NextTU := "10112".TU);

```

Slika 5.5: Programska koda, kjer blokom povemo, kdo so njihovi sosedi

6 Sklep

V okviru diplomskega dela smo razvili programsko opremo za vodenje transportnih sistemov v avtomatskih skladiščih. Programska oprema je modularna in podpira več tipov transporterjev. Vsak modul skrbi za pravilno vodenje enega transporterja in vključuje funkcije potrebne za izmenjavo informacij med sosednjimi moduli. Programska oprema trenutno podpira osem različnih tipov gradnikov transportnega sistema, ki jih lahko poljubno povezujemo med seboj za ustvarjanje zaključene celote poljubne velikosti in kompleksnosti.

Programska koda za transportni sistem je modularna in nam omogoča enostavno podporo za razširitve in hitro izvedbo novih transportnih sistemov. Za nov tip transportne naprave moramo pripraviti ustrezen modul, ki se drži vzpostavljenih standardov za izmenjavo informacij in skrbi za vodenje nove transportne naprave.

Programska oprema se je izkazala za zelo zanesljivo in robustno, saj sistem deluje že več kot leto dni deluje brez napak in težav, vezanih na programsko opremo. Pred naslednjo implementacijo bi želeli urediti določene omejitve, ki smo jih opazili na tem projektu. Med drugim bi programsko kodo za elemente transportnega sistema napisali v obliki avtomata, ki zagotavlja boljšo berljivost in enostavnejše urejanje programske kode. Boljše zasnovan uporabniški vmesnik bi uporabnikom olajšal delo s transportnim sistemom, saj ga občasno uporabljajo tudi ne dovolj usposobljeni uporabniki.

Literatura

- [1] John J. Bartholdi, III, Steven T. Hackman, Warehouse & distribution science, revizija 0.96, avgust 2014.
- [2] Mikell P. Groover, Automation, Production Systems, and Computer-Integrated Manufacturing, tretja izdaja, avgust 2007.
- [3] Yukito Ando, Akira Okura, Mikio Ito, Automated warehouse inloading/outloading storage controller, identifikacijska številka patenta »US 5568393 A«, 1992.
- [4] Projektna dokumentacija za predstavljeno avtomatizirano skladišče (poslovna skrivnost).
- [5] W. Bolton, Programmable Logic Controllers, revizija 6, 2015.
- [6] Health and Safety Executive, Application of electro-sensitive protective equipment using light curtains and light beam devices to machinery, druga izdaja, februar 1999
- [7] Siemens, HMI devices Mobile Panels 2nd Generation, Operating Instructions, 2015
- [8] National Electrical Manufacturers Association, Application Guide for AC Adjustable Speed Drive Systems, 2015
- [9] Slikovni vir za programirljivi logični krmilnik [Online],
<https://mall.industry.siemens.com/mall/en/WW/Catalog/Product/6ES7515-2AM01-0AB0>
- [10] Slikovni vir za mobilni panel [Online],
<http://www.bjttsf.com/Products/ximenziquanxindierda.html>
- [11] Slikovni vir za frekvenčni pretvornik [Online],
<http://dien-tudong.com/bien-tan-sinamics-g120-02/>